



TESIS - TE142599

HOLE FILLING 3 DIMENSI BERBASIS VOKSEL DENGAN INTERPOLASI RATA RATA VEKTOR

ARIS SUDARYANTO
2214205015

PEMBIMBING

Dr. I KETUT EDDY PURNAMA, ST., MT.
Dr.EKO MULYANTO YUNIARNO, ST., MT.

**PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA
JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016**



TESIS - TE142599

3D HOLE FILLING BASED ON VOXEL WITH WEIGHTED NEIGHBOURS INTERPOLATION

ARIS SUDARYANTO
2214205015

SUPERVISORS

Dr. I KETUT EDDY PURNAMA, ST., MT.
Dr. EKO MULYANTO YUNIARNO, ST., MT.

MASTER PROGRAM

INTELLIGENT NETWORK EXPERTISE MULTIMEDIA
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA
2016

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Aris Sudaryanto
NRP : 2214 205 015

Tanggal Ujian: 20 Juni 2016
Periode Wisuda: September 2016

Disetujui oleh:

1. Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT. (Pembimbing I)
NIP. 19690730 199512 1 001

2. Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT. (Pembimbing II)
NIP. 19680601 199512 1 009

3. Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc. (Penguji)
NIP. 19690613 199702 1 003

4. Dr. Adhi Dharma Wibawa, ST., MT. (Penguji)
NIP. 19760505 200812 1 003



Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Dharma Manfaat, M.Sc, Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

ABSTRAK

Nama Mahasiswa : Aris Sudaryanto
NRP : 2214205015
Pembimbing I : Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Pembimbing II : Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.

Rekonstruksi adalah bagian yang sangat penting dari visualisasi 3D. Salah satu metode rekonstruksi yang umum digunakan adalah metode *bin filling*. Proses *bin filling* menghasilkan gambar 3D berdasarkan nilai vokal dari gambar 2D dan informasi posisinya. Tetapi proses *bin filling* seringkali masih meninggalkan beberapa vokal kosong / lubang. Lubang / vokal kosong yang dimaksud adalah vokal yang tidak memiliki informasi nilai, karena tidak terjangkau oleh proses *bin filling*. Untuk memperkirakan / mengisi nilai vokal kosong tersebut, dalam penelitian ini penulis menggunakan metode *hole filling*. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode interpolasi dengan pembobotan tetangga. Untuk melakukan interpolasi, pertama kali vokal kosong harus diberi label. Kemudian dihitung jarak antara setiap vokal kosong dengan vokal tetangga. Jarak tersebut lalu dipilih berdasarkan nilai radius, jika termasuk dalam rentang radius maka vokal tetangga digunakan dalam proses interpolasi, jika tidak termasuk dalam rentang radius, maka vokal tetangga dianggap tidak berpengaruh terhadap vokal kosong. Selanjutnya setiap vokal tetangga diberi bobot berdasarkan jaraknya terhadap vokal kosong. Terakhir, nilai vokal kosong dihitung berdasarkan nilai bobot dan nilai intensitas dari tetangganya. Berdasarkan hasil percobaan, terlihat bahwa rata-rata nilai kesalahan dari metode ini adalah 55,184 pixel, dengan rentang nilai piksel antara 0 hingga 255. Nilai error dihitung oleh rata-rata perbedaan antara data dan hasil interpolasi.

Kata kunci : *bin filling*, *hole filling*, interpolasi dengan pembobotan tetangga

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Name : Aris Sudaryanto
NRP : 2214205015
Supervisor : Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
Co-Supervisor : Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.

Reconstruction is a very important part of 3D visualization. A common reconstruction method is bin filling. Bin filling produces 3D image based on the voxels in 2D image and its position. But bin filling process often left some empty voxels. To estimate the empty voxels' value, in this research the authors use hole filling method. In this research the authors use weighted neighbours interpolation to estimate the empty voxel. To do the interpolation, the empty voxels should be labeled. Then from each of them, the distance of the surrounding non-empty voxels to the empty one are computed. Then certain radius is used as a threshold. The surrounding voxels within the threshold distance are considered as neighbours. Then the value of the empty voxels is determined by the weighted value of the neighbours' voxel. Based on the result of the experiment, seen that the average of error value of the method is 55.184 pixel (from the scale 0 up to 255). The error value is counted by average of difference between data and the interpolation result.

Keywords : bin filling, hole filling, weighted neighbours interpolation

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.5. Hipotesa	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA	5
2.1. Citra Medis Digital	5
2.2. Citra Medis 3 Dimensi.....	9
2.2.1. Akuisisi Citra Medis	10
2.2.2. Rekonstruksi Volume 3 Dimensi.....	10
2.2.2.1 Bin Filling	10
2.2.2.2 Hole / Voksel Kosong.....	11
2.2.2.3 Hole Filling	12
2.2.2.3.1 Nearest Neighbour Interpolation	13
2.2.2.3.2 Distance Weighted Interpolation	14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	17
3.1. Set Data.....	18
3.2. ROI dan Normalisasi	19
3.3. Simpan Nilai Voxel	22
3.4. Voksel Kosong / Lubang	23

3.5.	Deteksi Voksel Kosong / Lubang.....	26
3.6.	Interpolasi.....	26
3.6.1.	Menghitung Jarak Tetangga	27
3.6.2.	Menentukan Radius	28
3.6.3.	Menentukan Bobot	29
3.6.4.	Proses Interpolasi	31
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		33
4.1.	Pengujian Metode Interpolasi.....	33
4.1.1.	Pengujian Berdasarkan Jumlah Lubang	33
4.1.2.	Pengujian Berdasarkan Nilai Radius	57
 BAB V KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA		83
5.1.	Kesimpulan.....	83
5.2.	Penelitian Selanjutnya	84
 DAFTAR PUSTAKA		85
BIOGRAFI PENULIS.....		87

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Pengujian dengan radius 10	34
Tabel 4.2 Pengujian dengan radius 20	39
Tabel 4.3 Pengujian dengan radius 30	43
Tabel 4.4 Pengujian dengan radius 40	47
Tabel 4.5 Pengujian dengan radius 50	52
Tabel 4.6 Perbandingan nilai error untuk setiap radius	56
Tabel 4.7 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 50%	58
Tabel 4.8 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 60%	62
Tabel 4.9 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 70%	67
Tabel 4.10 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 80%	71
Tabel 4.11 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 90%	75
Tabel 4.12 Perbandingan nilai error untuk setiap prosentase jumlah lubang	80

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Citra ultrasound 3 dimensi (3D US) dari (hepatocellular) tumor primer dengan dua aplikator microwave di tempat. Aplikator dan tumor telah tersegmentasi dan ditampilkan dalam 3D sehingga memungkinkan ahli intervensional radiologi untuk memeriksa akurasi penempatan aplikator dalam tumor	9
Gambar 2.2 Sistem pemindaian ultrasound	11
Gambar 2.3 Lubang / voksel kosong dalam ruang 3 dimensi	12
Gambar 2.4 Pembobotan voksel berdasarkan jaraknya dengan lubang	15
Gambar 3.1 Skema penelitian	17
Gambar 3.3 Contoh data citra yang digunakan	19
Gambar 3.4 Area hitam pada data citra.....	20
Gambar 3.5 Area pemotongan citra (a) data awal sebelum di potong (b) area pemotongan (c) citra hasil pemotongan	21
Gambar 3.6 Konversi data set citra ke dalam array tiga dimensi	23
Gambar 3.7 Proses pemindaian obyek.....	24
Gambar 3.8 Rekonstruksi volume obyek.....	24
Gambar 3.9 Contoh nilai piksel citra yang memiliki voksel kosong	25
Gambar 3.10 Posisi lubang (I_h) dan voksel tetangga (I_1).....	28
Gambar 3.11 Menentukan titik acuan berdasarkan nilai radius.....	29
Gambar 3.12 Bobot voksel tetangga (w_1) (w_2) (w_3) berdasarkan nilai radius	30
Gambar 4.1 Data citra frame 1 untuk nilai radius 10. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%).....	35
Gambar 4.2 Data citra frame 1 untuk nilai radius 10. Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%	35
Gambar 4.3 Data citra frame 1 untuk nilai radius 10. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%	36

Gambar 4.4 Gambar 4.4 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 10, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%	37
Gambar 4.5 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 10, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	37
Gambar 4.6 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 10, ditampilkan dalam bentang warna.(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	37
Gambar 4.7 Data citra frame 1 untuk nilai radius 20. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)	39
Gambar 4.8 Data citra frame 1 untuk nilai radius 20. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%	40
Gambar 4.9 Data citra frame 1 untuk nilai radius 20. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%	40
Gambar 4.10 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 20, ditampilkan dalam bentang warna.(a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%	41
Gambar 4.11 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 20, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	41
Gambar 4.12 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 20, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	42
Gambar 4.13 Data citra frame 1 untuk nilai radius 30. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)	44

Gambar 4.14 Data citra frame 1 untuk nilai radius 30.. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%	44
Gambar 4.15 Data citra frame 1 untuk nilai radius 30. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%	45
Gambar 4.16 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 30, ditampilkan dalam bentang warna.(a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%	45
Gambar 4.17 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 30, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	46
Gambar 4.18 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 30, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	46
Gambar 4.19 Data citra frame 1 untuk nilai radius 40. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%).....	48
Gambar 4.20 Data citra frame 1 untuk nilai radius 40. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%	48
Gambar 4.21 Data citra frame 1 untuk nilai radius 40. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%	49
Gambar 4.22 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 40, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%	50
Gambar 4.23 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 40, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	50

Gambar 4.24 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 40, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	50
Gambar 4.25 Data citra frame 1 untuk nilai radius 50. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)	53
Gambar 4.26 Data citra frame 1 untuk nilai radius 50. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%	53
Gambar 4.27 Data citra frame 1 untuk nilai radius 50. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%	53
Gambar 4.28 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 50, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%	54
Gambar 4.29 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 50, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	54
Gambar 4.30 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 50, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%	55
Gambar 4.31 Grafik nilai error untuk setiap nilai radius.....	57
Gambar 4.32 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 50%. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)	59
Gambar 4.33 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 50%. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% dan radius 50	60
Gambar 4.34 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 50%. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	60

Gambar 4.35 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 50%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat radius10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50	61
Gambar 4.36 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 50%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50.....	61
Gambar 4.37 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 50%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	61
Gambar 4.38 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 60%. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	63
Gambar 4.39 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 60%. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 60% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 60% dan radius 50	63
Gambar 4.40 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 60%. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 60% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 60% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	64
Gambar 4.41 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 60%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat radius10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50	65
Gambar 4.42 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 60%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50.....	65
Gambar 4.43 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 60%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	65
Gambar 4.44 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 70%. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	67

Gambar 4.45 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 70%. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 70% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 70% dan radius 50	68
Gambar 4.46 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 70%. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 70% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 70% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	68
Gambar 4.47 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 70%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50	69
Gambar 4.48 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 70%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	69
Gambar 4.49 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 70%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	70
Gambar 4.50 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 80%. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)	72
Gambar 4.51 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 80%. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 80% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 80% dan radius 50	72
Gambar 4.52 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 80%. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 80% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 80% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	72
Gambar 4.53 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 80%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50	73
Gambar 4.54 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 80%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	74

Gambar 4.55 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 80%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	74
Gambar 4.56 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 90%. (a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	76
Gambar 4.57 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 90%. (a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90% dan radius 50.....	76
Gambar 4.58 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 90%. (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50).....	77
Gambar 4.59 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 90%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50	78
Gambar 4.60 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 90%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	78
Gambar 4.61 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 80%, ditampilkan dalam bentang warna. (a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50	78
Gambar 4.62 Grafik nilai error untuk setiap nilai prosentase jumlah lubang.....	80

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Visualisasi merupakan bagian yang sangat penting dalam navigasi, misalnya pada proses intervensi pasien untuk pemasangan stent. Untuk melakukan visualisasi tentu saja sangat diperlukan proses rekonstruksi dari obyek yang akan divisualisasikan.

Proses rekonstruksi akan mampu menghasilkan citra baru dari sebuah obyek berdasarkan data yang dihasilkan oleh alat pemindai. Alat pemindai yang dimaksud bisa bermacam macam jenis, contohnya seperti MRI (*Magnetic Resonance Imaging*), *Ultrasound*, *CT-Scan*, *Infrared*, kamera, dan lain lain. Masing masing alat pemindai tentu memiliki karakteristik masing masing, dan jenis data yang dihasilkan juga berbeda beda.

Untuk melakukan proses rekonstruksi dari citra 2 dimensi menjadi citra 3 dimensi, diperlukan data citra 2 dimensi yang dilengkapi dengan informasi koordinat posisi masing masing citra. Kemudian dilakukan proses *bin filling* pada citra 2 dimensi tersebut. Proses *bin filling* akan “menata” kembali citra 2 dimensi menjadi citra 3 dimensi berdasarkan data informasi posisi yang ada. Posisi irisan citra obyek 2 dimensi tersebut bisa jadi bermacam macam, ada yang tegak, lurus dan teratur, ada pula yang miring. Di sela sela posisi irisan citra obyek yang direkonstruksi, tentu terdapat beberapa celah lubang kosong yang tidak terisi. Pada celah lubang kosong tersebut tidak terdapat informasi nilai nilai vokal. Celah celah lubang inilah yang pada penelitian ini disebut sebagai lubang/vokal kosong, dan akan diperkirakan nilainya menggunakan proses interpolasi.

Untuk mengatasi permasalahan kekosongan nilai vokal tersebut, maka pada penelitian ini diajukan sebuah metode *hole filling* 3 dimensi berbasis rata rata interpolasi vokal. Pada penelitian ini, *hole filling* dilakukan berdasarkan nilai vokal tetangga, namun sebelumnya setiap vokal tetangga diberikan nilai bobot

yang dihitung berdasarkan jarak vokal tetangga tersebut dengan lubang/vokal kosong.

Untuk melakukan proses interpolasi, pertama kali yang dilakukan adalah menghitung jarak antara titik vokal kosong dengan vokal tetangga. Setiap vokal tetangga kemudian diseleksi jaraknya dengan vokal kosong berdasarkan nilai radius. Jika jarak vokal tetangga terhadap vokal kosong termasuk ke dalam bentang radius, maka vokal tetangga tersebut akan digunakan dalam proses interpolasi. Sebaliknya, jika jarak vokal tetangga terhadap vokal kosong tidak termasuk dalam bentang radius, maka vokal tetangga tersebut dianggap tidak berpengaruh dan tidak digunakan dalam proses interpolasi.

Setiap vokal tetangga kemudian diberi nilai bobot. Nilai bobot vokal tetangga tersebut diberikan berdasarkan jarak antara jarak vokal tetangga terhadap vokal kosong yang akan diinterpolasi. Semakin dekat jarak vokal tetangga terhadap vokal kosong, maka bobot yang diberikan akan semakin besar. Sebaliknya jika semakin jauh jarak vokal tetangga terhadap vokal kosong, maka bobot yang diberikan juga semakin kecil. Formula untuk menghitung bobot ini juga ditambahkan dengan fungsi kuadrat untuk mempertegas perbedaan pengaruh (bobot) antar setiap vokal tetangga. Terakhir, nilai vokal kosong dihitung berdasarkan nilai vokal tetangga beserta bobot yang telah ditentukan sebelumnya. Untuk mengukur performa dari metode yang digunakan, maka pada penelitian ini dihitung nilai error dari hasil pengujian yang dilakukan. Nilai error dihitung dari rata rata selisih antara data awal dengan data hasil interpolasi.

1.2. Rumusan Masalah

Proses *bin filling* yang dilakukan untuk merekonstruksi citra 2 dimensi menjadi citra 3 dimensi masih menghasilkan sejumlah lubang/vokal kosong pada titik titik tertentu. Kekosongan nilai vokal ini juga akan mengakibatkan kekosongan informasi yang dibutuhkan untuk proses proses selanjutnya. Sehingga dibutuhkan suatu proses tertentu untuk mengisi nilai dari kekosongan vokal ini.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Pada penelitian ini tidak melakukan akuisisi data, melainkan hanya melakukan proses interpolasi dari data yang sudah ada saja.
2. Lubang vokal/vokal kosong yang digunakan pada penelitian ini merupakan vokal kosong yang dibangkitkan secara acak.
3. Lubang vokal yang digunakan pada penelitian ini posisinya terletak secara acak dan kecil kecil, bukan lubang vokal yang besar dan memiliki bentuk tertentu.
4. Nilai error pada penelitian ini dihitung dari selisih antara nilai lubang yang terdapat pada data sebelum interpolasi dengan nilai lubang yang merupakan data hasil interpolasi.

1.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode interpolasi dengan pembobotan vokal tetangga pada proses *hole filling* agar didapatkan hasil yang mirip dengan data asli. Tingkat kemiripan ini dibuktikan berdasarkan nilai errornya.

Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah memperbaiki hasil dari proses *bin filling* pada proses rekonstruksi 3 dimensi. Dimana setelah dilakukan proses *hole filling* dengan metode interpolasi dengan pembobotan vokal tetangga, vokal kosong sudah terisi dengan nilai baru yang mirip dengan data asli.

1.5 Hipotesa

Bila metode interpolasi yang sebelumnya dimodifikasi dengan cara menambahkan pembobotan pada setiap vokal tetangga, dimana bobot vokal tetangga dihitung berdasarkan jaraknya terhadap vokal kosong, maka akan didapatkan hasil dengan nilai error yang lebih kecil.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini menguraikan tentang teori-teori penunjang dalam penulisan laporan penelitian ini.

2.1 Citra Medis Digital

Citra medis pada dasarnya adalah suatu teknik atau metode penggambaran bagian-bagian dari organ atau bagian-bagian dan fungsi daripadanya yang digunakan untuk tujuan klinis (prosedur medis). Yang dimaksud dengan tujuan klinis antara lain adalah pengungkapan, diagnosa, atau pemeriksaan terhadap penyakit, atau juga untuk penelitian di bidang ilmu terkait. Caranya adalah dengan menggunakan alat alat tertentu (misalnya sinar x) yang dapat menampilkan gambar organ tubuh manusia secara efisien dan juga memiliki kualitas yang lebih baik dan dapat dilihat oleh indera penglihatan manusia, baik dengan ataupun tanpa alat bantu.

Peralatan yang banyak digunakan sebagai media perekaman citra medis antara lain adalah *ultrasound* dan MRI (*medical resonance imaging*). Seperti halnya peralatan perekam citra medis lain, *ultrasound* dan MRI juga menghasilkan data citra medis, lebih khususnya citra *muskulokelatal* (otot dan atau kerangka). Antara *ultrasound* dan MRI sebaiknya tidak perlu dipandang sebagai piranti pesaing, melainkan sebagai piranti perekam citra medis yang saling melengkapi. Untuk penggunaan yang spesifik (benda asing, saraf perifer, pencitraan dinamis, jaringan lunak), terdapat keuntungan yang signifikan bila menggunakan piranti *ultrasound* daripada piranti lain karena resolusinya, dan kemampuannya untuk menggambarkan obyek secara lengkap dalam periode waktu yang singkat, serta sifatnya yang dinamis (Jacobson, 2005). Namun pada area area tertentu, *ultrasound* dan MRI juga mampu bekerja sama baiknya. *Ultrasound* dapat dilihat sebagai piranti perekam citra medis alternatif yang sangat potensial dari MRI ketika ada kontraindikasi untuk MRI (Jacobson, 2005). Misalnya ketika tubuh pasien tidak dapat mentoleransi atau mengalami penolakan

terhadap MRI. Maka, seorang radiologis yang memahami peranan *ultrasound* yang sangat potensial dalam perekaman citra medis khususnya *musculoskeletal*, akan dapat mempertimbangkan metode pencitraan dengan *ultrasound* ini kedalam diagnosis kelainan *muskuloskeletal*.

Seriring dengan perkembangan teknologi yang semakin maju pesat, saat ini sebgain besar proses citra medis (baik perekaman data citra maupun pengolahannya) sudah diintegrasikan dengan sistem komputer. Hal ini merupakan sebuah konsekuensi dari perkembangan kemajuan teknologi yang saat ini sudah dicapai. Namun integrasi proses citra medis dengan sistem komputer ini memiliki sejumlah keuntungan, antara lain adalah dalam hal manipulasi citra, transmisi citra, penyimpanan data dan kompresi citra, juga analisa dan rekonstruksi citra.

- Manipulasi Citra

Citra digital terbentuk dari susunan matrik piksel, dan setiap piksel adalah representasi dari sebuah nilai numerik. Karena merupakan representasi dari sebuah nilai numerik, maka menjadi mudah untuk menerapkan formula formula matematika untuk nilai nilai piksel ini. Dan efek dari formula matematika tersebut bisa mengubah nilai nilai piksel tersebut untuk meningkatkan atau menurunkan fitur fitur citra tertentu, sehingga citra yang ditampilkan juga bisa berubah menjadi sesuai yang dibutuhkan. Contoh manipulasi citra yang bisa dilakukan antara lain adalah *filtering*, *smoothing*, dan lain lain.

- Transmisi Citra

Masing masing piksel yang membentuk citra medis terdiri dari nilai nilai numerik. Nilai nilai numerik tersebut dapat direpresentasikan oleh pulsa arus listrik, cahaya, gelombang mikro atau gelombang radio. Akibatnya, citra medis dapat dikirim melalui berbagai media transmisi seperti saluran telepon, serat optik atau satelit. Hal ini membuka sebuah kemungkinan baru dalam hal pengolahan citra medis, yaitu kemungkinan untuk melakukan diagnose maupun pengolahan data citra medis lain tanpa harus terikat dengan darimana atau dengan apa citra medis tersebut diambil.

- Penyimpanan Data dan Kompresi

Citra medis digital dapat dengan mudah diarsipkan sebagai data numerik pada berbagai media penyimpanan data digital. Dengan adanya penyimpanan data secara digital, hal ini tentu saja membuka sebuah peluang baru, yaitu peluang untuk terbukanya akses atas data citra medis secara luas oleh pihak-pihak yang terkait. Menghasilkan citra dalam format digital juga membuka kemungkinan untuk dilakukannya proses kompresi citra, yang berarti bahwa penggunaan ruang penyimpanan bisa lebih diefisienkan lagi.

- Analisa dan Rekonstruksi Citra

Berbagai analisis dapat dilakukan pada citra medis dalam format digital. Citra juga dapat direkonstruksi untuk menghasilkan citra baru yang cukup berbeda atau lebih informatif daripada citra asli, misalnya rekonstruksi 3D di *computed tomography* (CT).

Segera setelah penemuan sinar-x, dokter mengakui pentingnya menggunakan pencitraan untuk memandu prosedur intervensi. Kemudian kemajuan teknologi pencitraan menjadi semakin berkembang dengan perkembangan *fluoroscopic*, CT, MR dan sistem *ultrasound*. Proses intervensi dengan dipandu oleh citra telah menjadi kebutuhan yang sangat penting bagi dokter dalam melakukan penanganan proses intervensi dan pembedahan kompleks. Hari ini, prosedur intervensi yang dipandu oleh citra sudah diintegrasikan dengan sistem berbasis komputer untuk dapat menyediakan informasi tiga dimensi (3D) secara *real time* dari anatomi pasien yang sedang menjalani penanganan. Informasi yang disajikan bisa dalam berbagai cara, seperti citra grafis virtual, atau juga pendekatan multi layar untuk membantu dokter memvisualisasikan dan menargetkan situs anatomi secara tepat.

Perkembangan *Computed Tomography* (CT) pada awal tahun 1970, yang mampu memberikan informasi anatomi secara 3 dimensi telah merevolusi dunia diagnostic radiologi, bahkan dengan menyediakan dokter dengan keahlian dalam bidang gambar 3D dari struktur anatomi. Kemudian laju pembangunan telah dilanjutkan dengan pengembangan 3D *magnetic resonance imaging* (MRI), *Positron Emission Tomography* (PET), dan pencitraan multi-slice dan *cone beam*

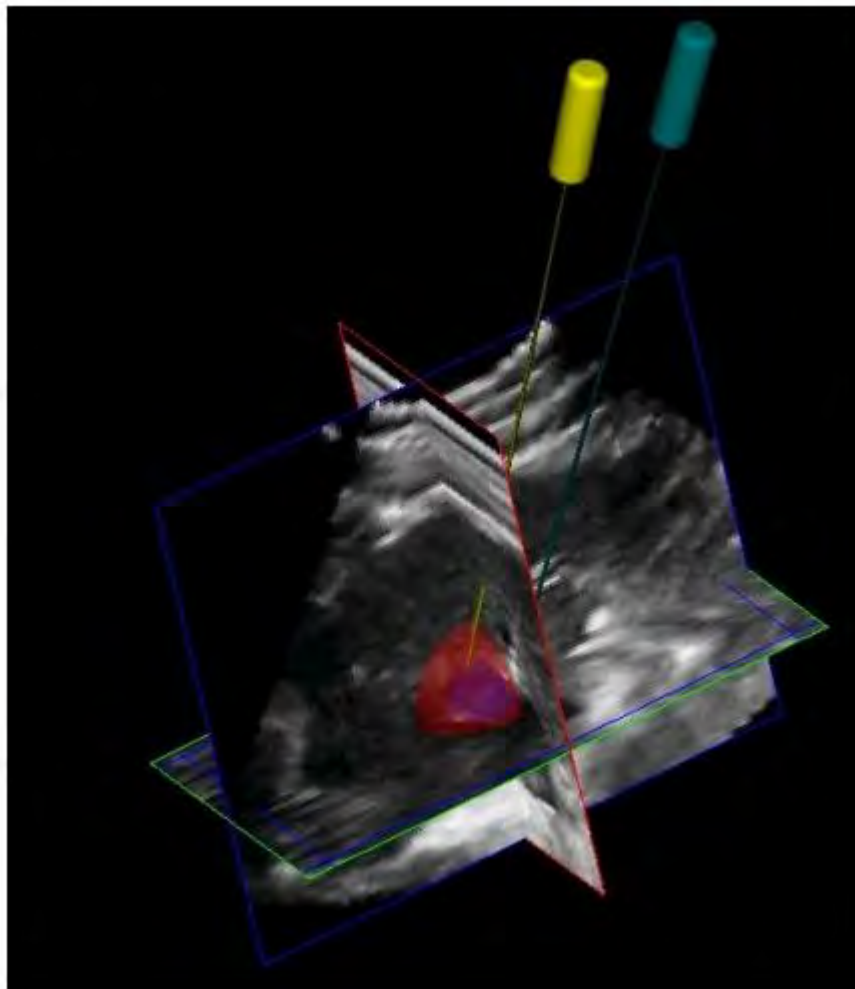
CT. Modalitas pencitraan ini telah mendorong pengembangan berbagai macam prosedur intervensi yang dipandu oleh citra.

Meskipun sistem pencitraan *ultrasound* 2 dimensi (2D US) telah digunakan secara luas untuk prosedur proses intervensi, misalnya seperti biopsi, namun sistem *ultrasound* 3 dimensi juga secara perlahan-lahan mulai tumbuh dalam dunia aplikasi klinis. Saat ini, sebagian dari prosedur diagnostik dan intervensi berbasis panduan citra di AS masih dilakukan dengan menggunakan pencitraan konvensional 2 dimensi.

Selama dua dekade terakhir, peneliti dari berbagai universitas dan juga peneliti dari berbagai perusahaan komersial telah memanfaatkan baik array 1 dimensi maupun array 2 dimensi sambil berusaha melakukan pengembangan teknik pencitraan *ultrasound* 3 dimensi (3D US). Teknik *ultrasound* 3 dimensi (3D US) telah semakin luas digunakan dalam diagnosis, dan proses invasi minimal pada proses intervensi yang dipandu dan berintegrasi dengan sistem pencitraan (Fenster et al., 2014).

Saat ini telah dikembangkan sistem panduan dengan citra 3 dimensi (3D US) untuk meningkatkan proses diagnosis dan pengobatan kanker dengan memperkenalkan sebuah inovasi perangkat keras dan perangkat lunak. Sebelumnya juga telah dilakukan pengembangan terhadap sistem panduan citra 3 dimensi (3D US) untuk pengobatan HCC. Perangkat keras dan perangkat lunak khusus digunakan sehingga memungkinkan akuisisi citra 3 dimensi dari citra *ultrasound* 3 dimensi (3D US), dan *tracking probe ablasi* selama proses intervensi ke sasaran.

Setelah mendapatkan persetujuan atas materi penelitian institusionalnya, A. Fenster dan tim mulai mengamati penggunaan scanner dalam pengobatan ablasi termal tumor hati primer. Gambar 2.1 menunjukkan gambar 3 dimensi (3D US) yang diperoleh selama prosedur *microwave* ablasi primer (hepatocellular) tumor. Ini menunjukkan penerapan mode hibrid dalam memperoleh volume yang cukup besar untuk mencakup wilayah tumor serta semua jarum ablasi dalam dua pandangan yang berbeda.



Gambar 2.1 Citra ultrasound 3 dimensi (3D US) dari (hepatocellular) tumor primer dengan dua aplikator microwave di tempat. Aplikator dan tumor telah tersegmentasi dan ditampilkan dalam 3D sehingga memungkinkan ahli intervensional radiologi untuk memeriksa akurasi penempatan aplikator dalam tumor. (Fenster et al., 2014)

2.2 Citra Medis 3 Dimensi

Prosedur utama dalam memperoleh volume 3 dimensi dari frame 2 dimensi ini terdiri dari dua proses, akuisisi citra *ultrasound* dan informasi posisi, dan rekonstruksi volume 3D (O. V. Solberg, F. Lindseth, H. Torp, R. E. Blake, and T. A. Nagelhus Hernes, "Freehand 3D Ultrasound Reconstruction Algorithms—A Review," *Ultrasound in medicine & biology*, vol. 33, no. 7, pp. 991-1009, 2007.).

2.2.1. Akuisisi Citra Medis

Teknis dalam melakukan proses akuisisi citra medis yang untuk kemudian akan dilakukan proses rekonstruksi tentu sangat bermacam macam. Namun ada hal utama yang harus diperhatikan, yaitu citra medis itu sendiri, dan informasi mengenai posisi citra medis. Informasi posisi citra medis sangat penting karena proses rekonstruksi yang akan dilakukan selanjutnya adalah berdasarkan pada data informasi posisi citra tersebut.

Dalam penelitian ini, data citra medis 2 dimensi telah didapatkan. Data tersebut berupa satu set data citra sebanyak 428 buah. Namun setelah dilakukan pengamatan, data citra yang bisa digunakan hanya 195 buah saja.

2.2.2. Rekonstruksi Volume 3 Dimensi

Setelah data citra ultrasound 2 dimensi dan informasi posisinya didapatkan, langkah selanjutnya adalah melakukan proses rekonstruksi data citra tersebut ke dalam bentuk volume 3 dimensi berdasarkan data informasi posisi yang ada. Algoritma dasar dari proses rekonstruksi volume 3 dimensi terdiri dari dua tahap, yaitu *Bin-filling* dan *Hole-filling* (Dewi et al., 2009).

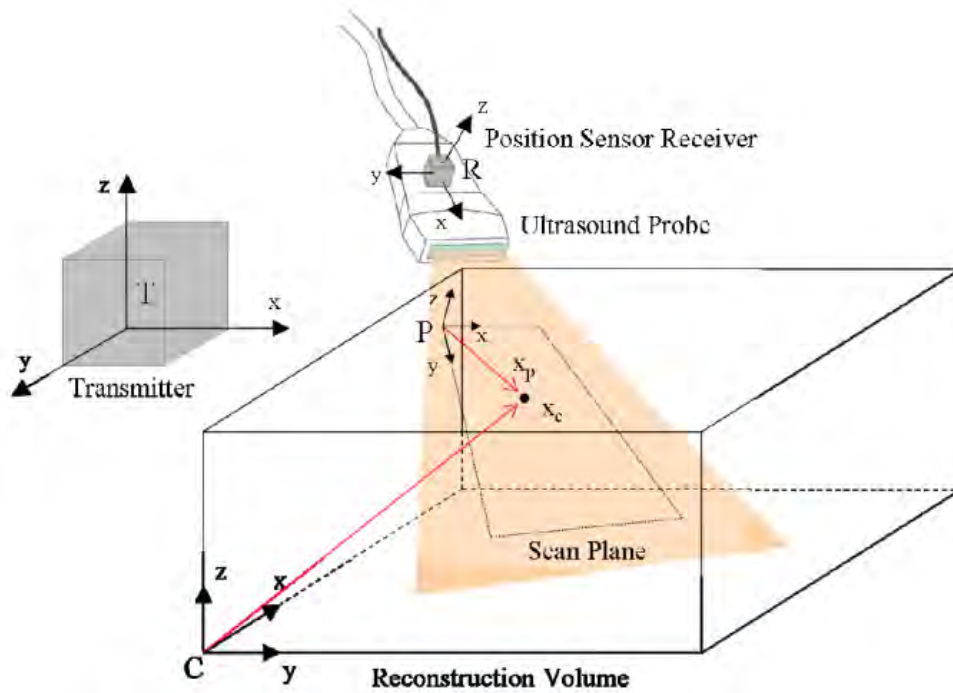
2.2.2.1. Bin Filling

Tujuan utama dari proses *bin filling* ini adalah untuk memetakan kembali data set citra 2 dimensi kedalam satu set data 3 dimensi, berdasarkan acuan yang ada. Pada umumnya yang digunakan sebagai acuan dari proses *bin filling* adalah nilai koordinat posisi dari citra 2 dimensi.

Sistem pada umumnya terdiri dari beberapa bagian penting, yaitu penjejak posisi, *probe ultrasound*, dan obyek pemindaian seperti pada Gambar 2.2. Masing masing dijejaki dan disimpan nilai posisinya, baik ketika bergerak ataupun tidak. Probe ultrasound akan melakukan pemindaian. Dan setiap citra hasil pemindaian, akan disertai juga dengan data informasi posisinya, termasuk juga posisi *probe ultrasound* saat itu, dan juga data informasi obyek pemindaian saat itu.

Dalam proses *bin filling*, setiap piksel dalam bingkai 2 dimensi dikenai proses translasi, rotasi, dan juga diskala sedemikian rupa sehingga diperoleh citra volume 3 dimensi baru berdasarkan data informasi posisi yang sebelumnya telah tersimpan. Karena sifat dari sistem citra *freehand*, menjadi sangat mungkin

bahwa akan terdapat salah satu atau beberapa voksel yang nilainya diisi dengan nilai lebih dari satu piksel dari beberapa frame 2 dimensi yang diambil dari arah yang berbeda namun kebetulan berpotongan.



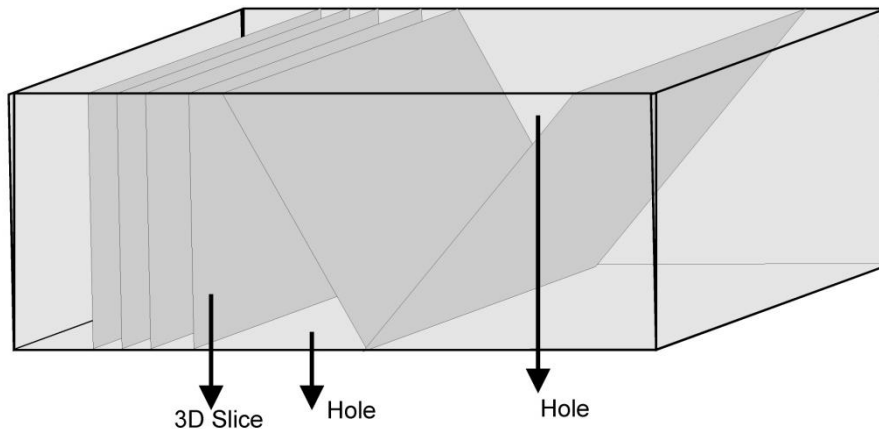
Gambar 2.2 Sistem pemindaian ultrasound. (Dewi et al., 2009)

Namun besar juga kemungkinan akan adanya sejumlah voksel yang tidak ada nilainya. Voksel yang tidak ada nilainya ini bisa disebabkan karena pada titik voksel tersebut tidak terdapat citra 2 dimensi yang melewatinya. Hal ini mengakibatkan nilai voksel tersebut menjadi kosong / tidak ada. Kemudian voksel voksel kosong tersebut dinamai dengan lubang / voksel kosong.

2.2.2.2. Hole / Voksel Kosong

Dari semua irisan frame citra 2 dimensi yang didapatkan dan kemudian disusun kembali kedalam bentuk citra volume 3 dimensi, terdapat beberapa titik tertentu yang nilainya kosong / tidak ada (Gambar 2.3). Titik kosong yang dimaksud pada penelitian ini bukanlah titik pada bidang 3 dimensi yang nilai vokselnya 0, melainkan titik voksel yang tidak ada nilainya. Voksel yang bernilai

0, pada penelitian ini tetap dianggap sebagai vokal yang memiliki nilai, karena 0 itu sendiri adalah sebuah nilai.



Gambar 2.3 Lubang / vokal kosong dalam ruang 3 dimensi

Namun lain dengan vokal kosong. Vokal kosong yang dimaksud pada penelitian ini adalah vokmsel yang memang tidak memiliki nilai. Hal ini bisa terjadi karena koordinat posisi 3 dimensi dari vokal tersebut tidak terlewati / terjangkau oleh data data citra frame 2 dimensi yang ada. Maka meskipun setelah dilakukan proses rekonstruksi, nilai dari vokal kosong tersebut tetap tidak ada. Vokal kosong ini kemudian disebut sebagai lubang. Ketika vokal dalam ruang 3 dimensi belum ditempati oleh piksel dari frame 2 dimensi, maka nilai vokal tersebut kemudian diisi dengan nilai piksel berdasarkan dari piksel yang telah diperoleh sebelumnya (Dewi et al., 2009). Maka selanjutnya dilakukan proses *hole filling* untuk menentukan nilai dari vokal kosong / lubang tersebut.

2.2.2.3. Hole Filling

Pada intinya lubang itu adalah sebuah vokal kosong, dan tidak ada informasi apa apa didalamnya. Maka sebenarnya, lubang / vokal kosong tersebut boleh boleh saja diisi dengan nilai berapapun / apapun. Karena memang sejak awal lubang tersebut memang kosong. Namun begitu, agar agar hole tersebut bisa menjadi bermanfaat, maka dalam proses penentuan nilai dari lubang / vokal

kosong ini perlu diperhatikan seberapa besar nilai lubang / vokal kosong tersebut dapat bersesuaian dengan nilai vokal vokal lain yang bukan merupakan sebuah lubang / vokal kosong.

Maka kemudian dalam melakukan proses *hole filling*, bisa digunakan beberapa metode. Metode metode *hole filling* ini diharapkan dapat menghasilkan nilai vokal baru yang dapat turut merepresentasikan dari nilai vokal seluruh citra yang ada. Untuk menghitung akurasi dari metode *hole filling* tersebut, pada penelitian ini digunakan nilai selisih dari rata rata nilai lubang sebelum dikenai proses interpolasi dan rata rata nilai lubang setelah dikenai proses interpolasi (vokal kosongnya sudah diproses / diinterpolasi sehingga tidak ada nilai vokal yang kosong lagi).

Ada banyak metode yang bisa digunakan untuk melakukan proses *hole filling*. Diantara metode yang umum digunakan adalah metode *nearest neighbour interpolation* dan *distance weighted interpolation*.

3.2.2.3.1. Nearest Neighbour Interpolation

Metode *nearest neighbour* ini berangkat dari pandangan bahwa nilai suatu titik adalah sama atau tidak jauh berbeda dari nilai titik lain didekatnya. Pada intinya metode *nearest neighbour* ini mengacu pada nilai nilai vokal terdekat atau vokal sekitar dari lubang untuk digunakan sebagai acuan utama untuk menentukan nilai dari lubang / vokal kosong. Namun sekali lagi karena pada dasarnya nilai lubang / vokal kosong dapat diisi dengan nilai bebas, maka metode yang digunakan juga bebas. Begitu pula dengan metode *nearest neighbour* ini teknis penggunaannya berbeda beda, tergantung kepada penelitiannya masing masing. Namun kembali lagi, intinya menggunakan nilai nilai vokal sekitar sebagai acuan untuk menentukan nilai lubang / vokal kosong.

Metode ini akan melakukan pencarian vokal vokal tetangga yang tidak kosong dan posisinya dekat dengan lubang / vokal kosong (*near*). Jika sudah ditemukan vokal tetangga yang dekat dengan lubang / vokal kosong, selanjutnya vokal tetangga tersebut digunakan sebagai acuan penentuan nilai hole. Namun disini dekat (*near*) disini juga bermacam macam. Ada yang mendefinisikan dekat sebagai satu titik vokal yang posisinya berada pada titik terdekat dengan

lubang / vokal kosong, sehingga nilai dari vokal terdekat tersebut langsung digunakan sebagai nilai dari lubang / vokal kosong. Hal ini terlihat seperti pada buku 3D Freehand Ultrasound : Reconstruction and Spatial Compounding yang ditulis oleh Robert Nicolas Rohling.

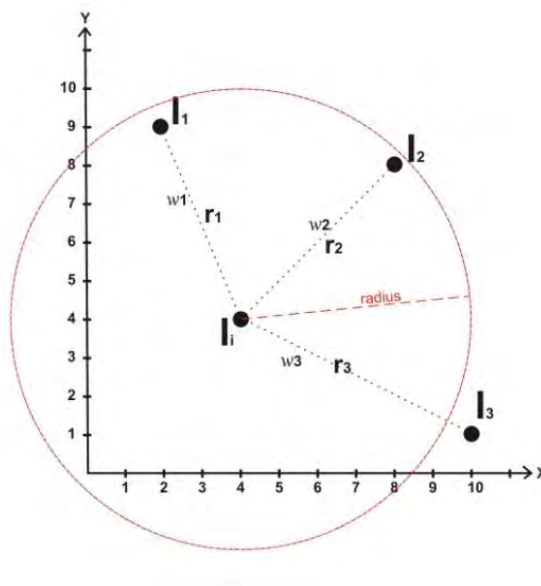
Ada pula yang mendefinisikan dekat (*near*) sebagai sebuah rentang jarak. Maka yang disebut sebagai *near neighbour* disini bukan hanya satu vokal, melainkan ada beberapa vokal, selama posisi vokal tersebut berada didalam rentang jarak yang ditetapkan. Karena jumlah vokal acuan ada banyak, maka cara menentukan nilai dari lubang / vokal kosong juga menjadi lain. Ada yang menentukan nilai lubang / vokal kosong dengan menghitung rata rata dari nilai vokal acuan. Ada pula yang menghitung nilai lubang / vokal kosong dengan cara mencari nilai yang merupakan nilai modus dari nilai nilai vokal acuan. Dengan mencari nilai modus, maka ada pula kemungkinan didapati suatu kondisi ketika tidak didapati modus dari nilai nilai vokal acuan. Maka apa yang harus dilakukan ?. Maka sekali lagi sebenarnya lubang / vokal kosong itu merupakan sebuah vokal yang tidak ada nilainya, atau nilainya kosong, maka boleh saja diisi dengan nilai berapapun, semua tergantung kepada peneliti. Namun kemudian perlu dihitung seberapa bermanfaat nilai vokal baru tersebut, salah satu caranya adalah dengan menghitung nilai errornya.

3.2.2.3.2. Distance Weighted Interpolation

Sedikit lain dari metode sebelumnya, metode ini berangkat dari pemahaman bahwa nilai suatu vokal tidak hanya dipengaruhi oleh vokal lain didekatnya saja, melainkan dipengaruhi oleh semua vokal yang ada, namun dengan tingkat pengaruh yang beragam. Berangkat dari pemahaman tersebut, maka metode ini menerapkan system pembobotan pada vokal vokal lain yang ada disekitar lubang (vokal kosong).

Cara yang digunakan oleh peneliti untuk melakukan pembobotan pada metode ini juga bermacam macam. Ada yang menggunakan rentang jarak seperti pada Gambar 2.4. Caranya dengan memberikan bobot yang sama untuk vokal vokal dengan jarak yang termasuk dalam suatu rentang jarak yang diberikan. Dan rentang jarak yang digunakan bisa juga jumlahnya lebih dari satu, sehingga jenis

bobot yang diberikan juga beragam. Namun dalam penelitian ini digunakan sesuai dengan jarak masing masing vokal. Semakin jauh jarak antara vokal acuan dengan vokal kosong, maka bobotnya juga semakin kecil. Sebaliknya jika semakin dekat jarak antara vokal acuan dengan vokal kosong, maka bobotnya juga semakin besar. Namun untuk efisiensi, maka vokal vokal yang akan digunakan sebagai acuan harus diseleksi terlebih dahulu berdasarkan nilai radius yang sudah ditetapkan.



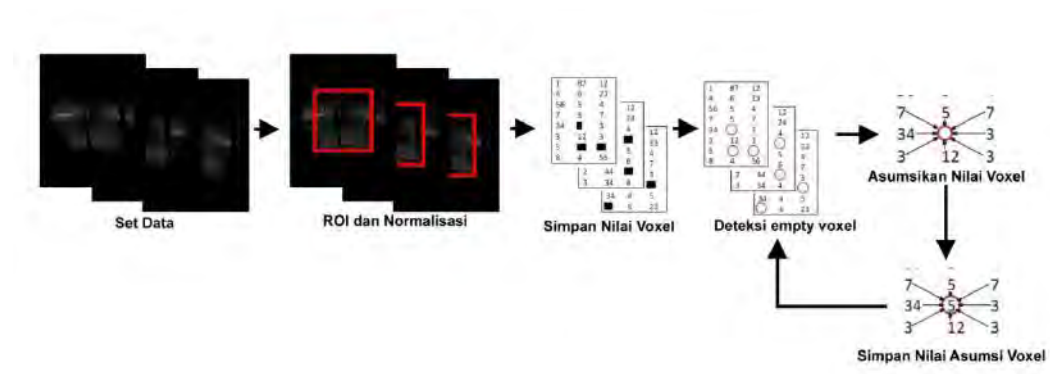
Gambar 2.4 Pembobotan vokal berdasarkan jaraknya dengan lubang

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini secara khusus akan menjelaskan tentang desain sistem dan metode yang digunakan pada penelitian *Hole Filling 3 Dimensi Berbasis Voksel dengan Interpolasi Rata Rata Vektor* ini. Proses ini dimulai pertama kali dari pengolahan data set. Data set yang digunakan pada penelitian ini adalah set data citra hasil proses pemindaian menggunakan *ultrasound*. Gambaran proses penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. Pertama kali data set perlu dilakukan proses normalisasi, proses normalisasi yang dilakukan antara lain adalah pemotongan ROI. Setelah selesai proses normalisasi, selanjutnya data set citra disimpan dalam bentuk array tiga dimensi. Data yang disimpan dalam array adalah nilai piksel pada setiap titik koordinat citra, baik itu terhadap sumbu x, terhadap sumbu y, maupun sumbu z. Sumbu z yang digunakan didapat dari jumlah data citra yang digunakan. Setelah nilai piksel citra disimpan dalam bentuk array tiga dimensi, selanjutnya dicari titik titik voksel yang kosong (tidak ada nilainya). Titik titik voksel yang kosong tersebut disimpan dalam variabel tertentu. Perlu ditekankan bahwa yang dimaksud dengan voksel kosong pada penelitian ini bukanlah voksel yang bernilai 0, tetapi voksel yang tidak ada nilainya. Selanjutnya titik titik voksel yang kosong tersebut diprediksikan nilainya. Setelah titik voksel yang nilainya kosong sudah terisi, kemudian titik tersebut dikembalikan di koordinatnya yang semua. Terakhir langkah ini dilakukan berulang ulang, sampai semua voksel memiliki nilai.



Gambar 3.1 Skema penelitian

3.1 Set Data

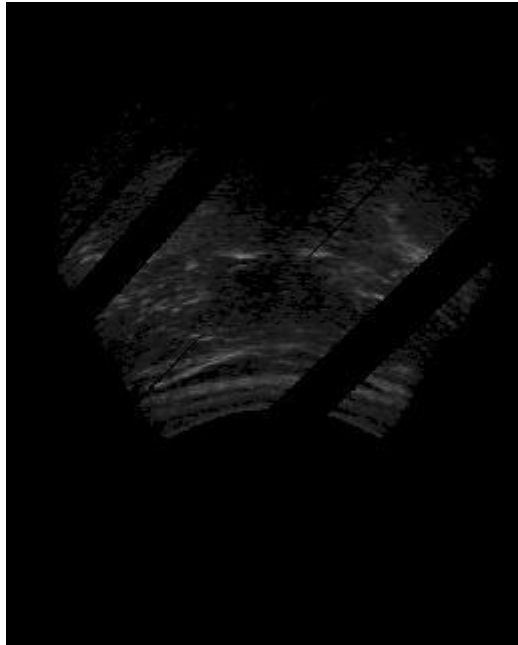
Set data yang digunakan pada penelitian ini adalah 428 buah citra. Masing masing citra yang digunakan sebagai data set berukuran sebesar 332 x 259 piksel. Citra ini merupakan citra hasil scan ultrasound. Citra set data diberi nama yang berurutan mulai dari *us1b_axial_419.png*, *us1b_axial_419.png*, dan seterusnya hingga *us1b_axial_846.png*. Dengan pemberian nama yang berurutan diharapkan dapat memudahkan dalam proses pengolahan data berikutnya.

Sebenarnya data apapun bisa digunakan pada penelitian ini, selama data tersebut bisa diubah kedalam bentuk array tiga dimensi. Pada percobaan sebelumnya, penelitian ini telah bisa mengolah data *dummy* berupa array tiga dimensi yang nilainya dibangkitkan sendiri secara acak menggunakan program. Namun saat ini digunakan data citra *ultrasound*, karena menyesuaikan dengan data penelitian kelompok riset yang juga menggunakan piranti *ultrasound*.

Dari 428 citra set data yang ada, data set citra yang digunakan hanya sebagian saja. Sebagian data set citra yang lain tidak digunakan karena dianggap tidak terdapat informasi penting didalamnya. Informasi penting yang dimaksud misalnya adalah terdapatnya fitur citra organ yang dipindai dengan *ultrasound*. Contoh citra yang tidak digunakan karena dianggap tidak terdapat informasi penting adalah citra dengan nama file *us1b_axial_419.png*. Gambar tersebut menunjukkan bahwa *ultrasound* sudah mulai melakukan pemindaian, namun sinyal *ultrasound* belum mengenai organ yang akan dipindai, sehingga citra yang dihasilkan hanya hitam saja, tanpa ada yang lainnya. Hal ini mengakibatkan citra pada gambar tersebut tidak digunakan pada penelitian, karena dianggap tidak terdapat informasi penting didalamnya.

Setelah data dipilah pilah, maka citra yang dianggap bisa digunakan adalah sebanyak 193 data. Data yang dianggap dapat digunakan adalah data citra dengan nama *us1b_axial_437.png* hingga nama *us1b_axial_630.png*. Data citra dengan nama *us1b_axial_437.png* hingga data citra dengan nama *us1b_axial_630.png* dipilih karena dianggap sudah menampilkan citra organ yang di pindai menggunakan *ultrasound* secara lengkap. Sebagai contoh salah satu data citra citra yang sudah dapat menampilkan organ secara lengkap adalah data citra *us1b_axial_625.png* yang terdapat pada Gambar 3.3. Pada citra

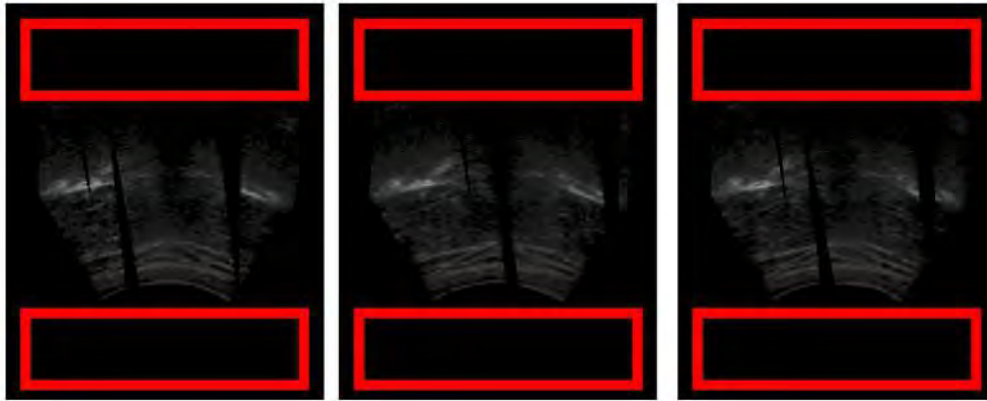
us1b_axial_625.png sudah terlihat organ yang di pindai menggunakan *ultrasound* secara lengkap. Maka dari itu citra us1b_axial_625.png dipilih untuk digunakan dalam proses yang akan dilakukan selanjutnya.



Gambar 3.3 Contoh data citra yang digunakan

3.2 ROI dan Normalisasi

Dari seluruh data data yang digunakan pada penelitian ini, semuanya terdapat area area tertentu yang nilainya selalu sama. Dalam penelitian ini, area tersebut disebut sebagai area hitam, seperti pada Gambar 3.4. Penyebutan ini dilakukan karena merujuk pada warna pada area tersebut yang selalu hitam karena memang tidak terdapat perubahan sama sekali. Area tersebut selalu berwarna hitam, meskipun pada data citra yang lain. Pada Gambar 3.4, area hitam ditunjukkan dalam area persegi warna merah. Jika area tersebut turut diproses, maka kemungkinan besar hasilnya juga tidak akan berpengaruh secara signifikan. Bahkan bisa jadi justru akan memberatkan proses komputasi, karena pada penelitian ini kami melakukan proses komputasi terhadap setiap vokal citra secara tiga dimensi, dan dilakukan perulangan secara terus menerus sebanyak jumlah titik vokal yang nilainya kosong (lubang). Maka dari itu, bagian bagian dari data yang dianggap kurang berpengaruh akan dihilangkan atau tidak diproses, untuk mengurangi beban komputasi yang harus dilakukan.



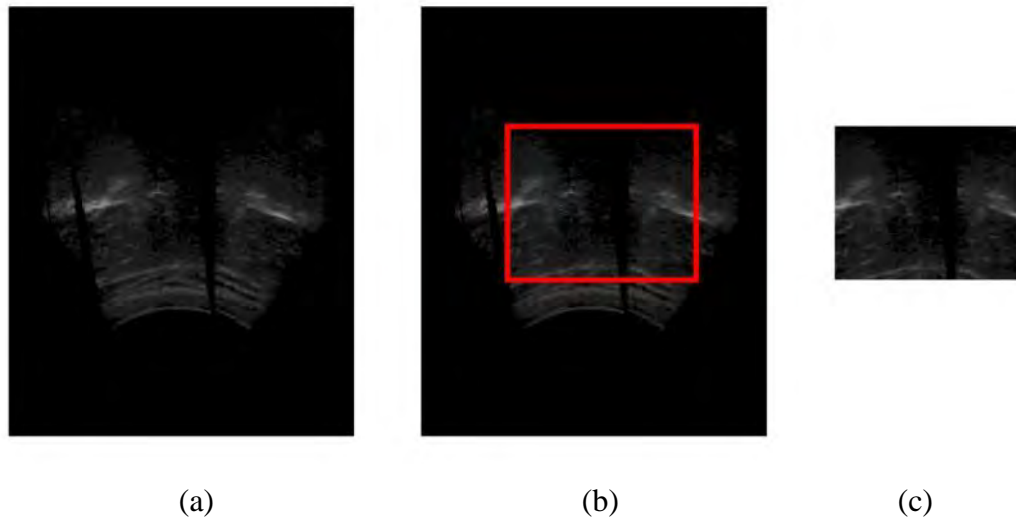
Gambar 3.4 Area hitam pada data citra

Karena terdapat area hitam, dan sekaligus untuk mengurangi beban komputasi, maka dilakukan proses ROI pada citra data set. ROI dilakukan dengan cara melakukan pemotongan pada setiap data set. Proses pemotongan pada penelitian ini dilakukan secara otomatis menggunakan program, sehingga hasil pemotongannya juga akan sama pada setiap data set citra.

Pertama kali sebelum melakukan proses pemotongan, harus ditentukan terlebih dahulu area mana yang akan di potong, dan koordinat berapa saja. Jika koordinat piksel yang akan dipotong sudah ditentukan, maka dibuat rentang koordinat tersebut. Selanjutnya dilakukan proses pengambilan nilai voksel pada setiap koordinat citra. Kemudian nilai voksel tersebut disusun kembali menjadi sebuah citra baru. Namun citra baru yang disusun ini adalah berdasarkan rentang koordinat yang telah dibuat sebelumnya. Dengan proses ini, dihasilkan sebuah citra baru dengan area sesuai yang diinginkan saja, dan dengan ukuran citra yang persis sama.

Setelah mengalami proses pemotongan, maka dihasilkan data citra baru dengan ukuran yang lebih kecil. Ukuran citra hasil pemotongan menjadi lebih kecil karena area hitam pada citra yang dianggap tidak dibutuhkan telah dihilangkan. Pada gambar 3.5 dapat terlihat area pemotongan pada penelitian ini. Data asal merupakan data utuh dan didalamnya terdapat area hitam seperti pada Gambar 3.5 a. Selanjutnya ditentukan area yang akan di potong dan area yang akan dipertahankan, seperti pada Gambar 3.5.b. Pada Gambar 3.5 b , area yang ditandai dengan persegi panjang berwarna merah merupakan area yang akan

dipertahankan. Sedangkan area yang berada diluar persegi panjang merah merupakan area yang akan dipotong.



Gambar 3.5 Area pemotongan citra (a) data awal sebelum di potong (b) area pemotongan (c) citra hasil pemotongan

Data awal yang digunakan pada penelitian ini adalah berukuran 332×259 . Data awal ini merupakan data asli sebelum dilakukan proses pemotongan. Pada data asli ini juga masih terdapat area hitam yang tidak diperlukan dalam proses selanjutnya, sebaliknya justru akan membebani proses komputasi. Maka kemudian dilakukan proses pemotongan dengan area yang dipertahankan adalah area yang dianggap penting. Area yang dianggap penting pada penelitian ini ditandai dengan sebuah persegi panjang berwarna merah pada Gambar 3.5 a. Sedangkan area diluar persegi panjang berwarna merah tersebut merupakan area hitam yang tidak berguna dan dihilangkan dengan menggunakan proses pemotongan. Setelah proses pemotongan selesai dilakukan, kemudian dihasilkan data citra baru dengan ukuran sebesar 115×141 piksel. Ukuran ini dianggap ukuran yang terbaik karena pada area ini selalu terdapat citra organ yang discan dengan *ultrasound*.

Dari data awal yang berukuran 332×259 piksel (46812) sehingga menjadi data citra baru dengan ukuran 115×141 piksel (16215) maka dapat terlihat jumlah piksel yang tidak perlu diproses, sehingga tidak memberatkan proses komputasi. Setiap satu buah citra, ukuran pikselnya berkurang sebanyak $46812 - 16215 =$

30597 piksel. Pengurangan sebanyak 30597 piksel adalah untuk proses satu citra saja, sedangkan pada penelitian ini digunakan 195 buah citra. Maka total pengurangan yang didapatkan dari hasil proses pemotongan adalah sebanyak $30597 \times 195 = 5.966.415$ piksel. Pengurangan proses sebanyak 5.966.415 titik piksel tentu saja bukan merupakan pengurangan yang sedikit. Karena pengolahan selanjutnya akan melakukan proses perulangan dengan jumlah yang sangat besar. Maka dapat dikatakan bahwa proses pemotongan ini sangat membantu dalam meringankan proses komputasi yang harus dilakukan.

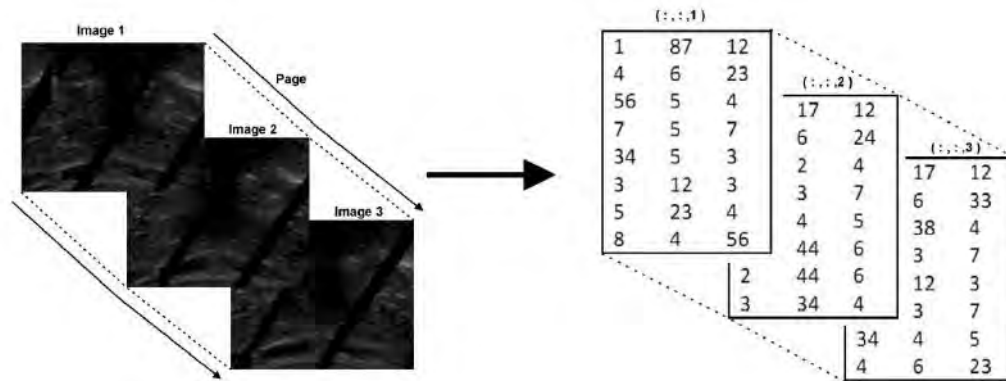
3.3 Simpan Nilai Voksel

Proses pemotongan yang dilakukan sebelumnya telah menghasilkan data set citra baru dengan ukuran yang lebih kecil sebanyak 195 buah citra. Selanjutnya agar data set citra tersebut dapat diproses lebih lanjut, maka data set tersebut disimpan ulang dalam bentuk array tiga dimensi.

Pertama kali yang harus dilakukan untuk membuat array tiga dimensi dari data set citra adalah membuat sebuah array tiga dimensi yang masih kosong namun dengan ukuran yang sama dengan data array tiga dimensi yang akan dibuat. Pada penelitian ini ukuran array tiga dimensi yang akan dibuat adalah disesuaikan dengan ukuran data set citra, yaitu $115 \times 14 \times 195$. Ukuran 115×14 adalah didapat dari panjang dan lebar data set citra. Sedangkan 195 merupakan jumlah set data citra yang digunakan yaitu 195 buah data citra, jumlah itu kemudian dikonversikan menjadi sumbu z dalam ukuran matrik. Gambaran proses konversi data set citra ke dalam array tiga dimensi digambarkan seperti pada Gambar 3.6.

Jika array kosong tiga dimensi sudah dibuat dengan ukuran yang sama dengan ukuran citra, selanjutnya array kosong tersebut diisi menggunakan nilai dari piksel piksel data set citra. Cara mengisinya adalah dengan mengambil nilai piksel piksel dari data set citra satu per satu. Nilai piksel yang diambil tersebut kemudian disimpan dalam array tiga dimensi yang sudah dibuat sebelumnya. Penyimpanannya disesuaikan antara koordinat piksel citra dengan koordinat array tiga dimensi yang dibuat. Langkah ini diulang terus menerus untuk setiap data set citra, dengan index citra dikonversikan menjadi sumbu z dari array tiga dimensi.

Dari proses ini dihasilkan sebuah array tiga dimensi dengan ukuran 115 x 141 x 195.

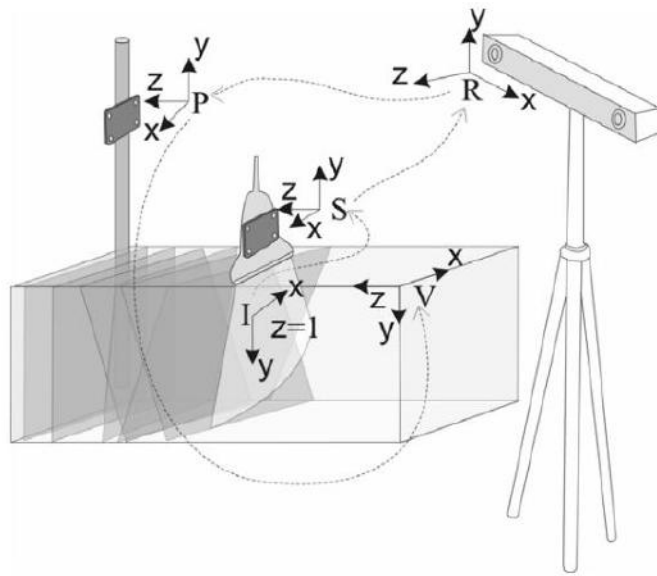


Gambar 3.6 Konversi data set citra ke dalam array tiga dimensi

3.4 Voksel Kosong / Lubang

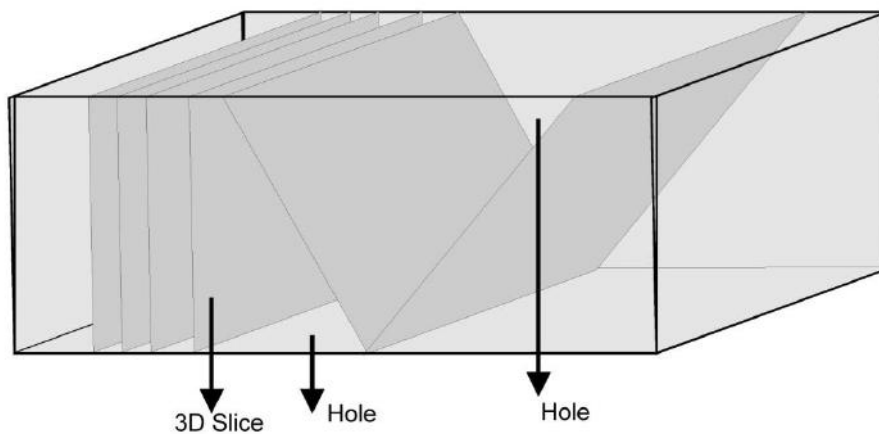
Data array tiga dimensi yang didapat pada kenyataannya tidaklah selalu bagus dan ideal. Sering pula terjadi terdapat banyak titik titik tertentu yang nilainya tidak ada / kosong pada data array tiga dimensi yang didapatkan. Hal ini terjadi karena bermacam macam faktor. Faktor yang menyebabkan kekosongan nilai voksel tersebut contohnya adalah karena alat pemindainya tidak mampu menjangkau pada titik yang dimaksud, sehingga nilai voksel pada titik tersebut adalah kosong. Faktor lain yang juga bisa mempengaruhi kekosongan voksel adalah karena proses rekonstruksi. Misalnya karena kurangnya data yang akan direkonstruksi, sehingga pada titik titik tertentu nilai vokselnya tidak bisa diketahui.

Misalnya dilakukan pemindaian suatu obyek menggunakan *ultrasound*. Dan selama proses pemindaian, koordinat posisi dari probe ultrasound direkam, begitu pula dengan koordinat posisi obyek, dan benda benda lain yang berkaitan seperti pada Gambar 3.7. Dari proses pemindaian obyek menggunakan ultrasound ini akan didapatkan irisan irisan citra dari obyek, lengkap dengan informasi nilai koordinat posisinya. Dari data irisan citra obyek dan informasi koordinat posisi tersebut, kemudian akan dilakukan proses rekonstruksi volume irisan irisan citra obyek tersebut.



Gambar 3.7 Proses pemindaian obyek (Purnama et al., 2010)

Untuk melakukan proses rekonstruksi volume citra obyek, maka dibuatlah sebuah ruang tiga dimensi dengan ukuran yang sama dengan ukuran obyek. Kemudian irisan irisan citra obyek tersebut diletakkan kembali pada ruang tiga dimensi yang telah dibuat, dengan memperhatikan koordinat posisinya yang sebelumnya telah disimpan ketika proses pemindaian obyek seperti pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rekonstruksi volume obyek

Irisan irisan citra obyek tersebut kemudian disusun kembali berdasarkan nilai nilai koordinat posisinya masing masing. Posisi irisan irisan citra obyek tersebut

bisa jadi bermacam macam, ada yang tegak lurus dan teratur, ada pula yang miring. Di sela sela posisi irisan citra obyek yang direkonstruksi, tentu terdapat beberapa celah lubang kosong yang tidak terisi.

10	30	40	40	50
40	20			
50		30	20	30
50	10	10	20	
50		20		20
30	20	10	0	10
30	20	30	30	

Gambar 3.9 Contoh nilai piksel citra yang memiliki vokal kosong

Misalnya dalam satu frame seperti pada gambar 3.9, pada setiap koordinat terdapat nilai intensitas vokal. Namun pada koordinat tertentu, terdapat vokal yang nilai intensitasnya kosong. Vokal yang nilai intensitasnya kosong tersebut yang kemudian disebut sebagai lubang. Celah celah lubang inilah yang pada penelitian ini disebut sebagai lubang / vokal kosong, dan akan diperkirakan nilainya menggunakan proses interpolasi. Pada penelitian ini lubang yang digunakan merupakan hasil pembangkitan secara acak, sehingga posisi koordinat dari lubang juga acak dan tidak memiliki pola atau bentuk tertentu.

Data yang didapat pada penelitian ini merupakan data set citra sebanyak 195. Kemudian data itu disimpan dalam array tiga dimensi. Jadi sebenarnya data array tiga dimensi yang digunakan dalam penelitian ini tidaklah memiliki lubang. Maka dari itu pada penelitian ini membangkitkan lubang sendiri dengan jumlah yang telah ditentukan sebelumnya, namun dengan lokasi koordinat lubang yang ditentukan secara acak. Banyaknya jumlah lubang yang akan digunakan pada penelitian ini adalah bervariasi, untuk selanjutnya akan digunakan sebagai variabel dalam pengujian sistem.

Perlu diperhatikan bahwa pada penelitian ini nilai piksel 0 bukanlah termasuk piksel kosong / lubang. Pada penelitian ini piksel kosong didefinisikan sebagai piksel yang tidak mempunyai nilai. Sedangkan piksel 0, adalah piksel yang

mempunyai nilai. Hanya saja nilai pikselnya adalah 0. Maka dari itu, perlu dibedakan antara piksel bernilai 0 dengan piksel kosong / lubang.

Nilai koordinat vokal kosong telah disimpan terlebih dahulu. Maka koordinat piksel kosong tersebut bisa digunakan untuk membedakan antara vokal biasa yang kebetulan bernilai 0, dengan vokal kosong yang tidak memiliki nilai. Maka yang akan dianggap sebagai piksel kosong hanyalah piksel piksel yang koordinatnya telah tersimpan sebelumnya sebagai piksel kosong. Dengan syarat yang ditentukan sebelumnya (koordinatnya tersimpan sebagai nilai koordinat piksel kosong), maka sudah bisa dibedakan antara vokal kosong dengan vokal biasa.

3.5 Deteksi Vokal Kosong / Lubang

Pada penelitian ini, posisi posisi koordinat dari vokal kosong telah disimpan sebelumnya. Sehingga untuk melakukan pendeteksian vokal kosong dan juga untuk membedakannya dengan vokal lain bisa dilakukan berdasarkan data posisi koordinat vokal kosong yang telah tersimpan sebelumnya.

Cara deteksi vokal kosong cukup dengan melakukan pemindaian terhadap seluruh data array tiga dimensi. Jika dalam proses pemindaian data array tiga dimensi tersebut didapati vokal yang nilai koordinat posisinya sama dengan koordinat posisi vokal yang telah tersimpan sebelumnya, maka vokal tersebut adalah vokal kosong.

Atau bisa saja pada data data tertentu, sebuah vokal kosong ditandai dengan tanda khusus, misalnya diberi nilai -1, atau nilai lain yang berada diluar dari rentang nilai vokal biasa. Maka untuk mendeteksi vokal kosong jenis ini, bisa dilakukan juga dengan proses pemindaian setiap nilai vokal. Jika didapati nilai vokal yang sama dengan nilai penanda vokal kosong (misalnya bernilai -1), maka vokal tersebut adalah vokal kosong. Sebaliknya jika sebuah vokal tidak bernilai sama dengan nilai penanda, maka vokal tersebut bukanlah vokal kosong.

3.6 Interpolasi

Proses interpolasi ini bertujuan untuk mengasumsikan nilai dari lubang / vokal kosong yang terdapat pada data citra tiga dimensi. Untuk melakukan

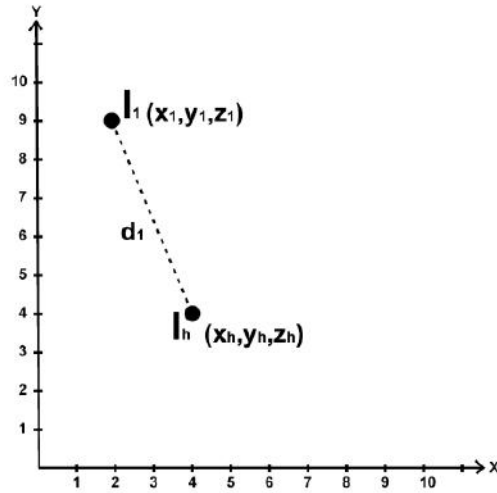
interpolasi, perlu beberapa tahapan yang harus dilakukan terlebih dahulu, yaitu menentukan radius, menentukan bobot, menentukan pangkat bobot, dan terakhir adalah melakukan proses interpolasi.

3.6.1. Menghitung Jarak Voksel Tetangga

Proses interpolasi akan memprediksikan nilai dari lubang / voksel kosong dengan mengacu pada nilai dari voksel voksel tetangga. Namun jumlah voksel tetangga yang terdapat disekitar lubang / voksel kosong jumlahnya sangat banyak, maka dari itu perlu dilakukan seleksi terhadap voksel voksel tetangga yang mana yang akan digunakan dalam proses interpolasi dan yang tidak digunakan dalam proses interpolasi. Pemilihan voksel tetangga pada penelitian ini dilakukan berdasarkan nilai radius. Voksel voksel tetangga yang jaraknya termasuk kedalam nilai radius, maka akan digunakan sebagai voksel tetangga dalam proses interpolasi. Sedangkan voksel voksel tetangga yang jaraknya melebihi dari nilai radius, tidak dianggap berpengaruh dan tidak digunakan dalam proses interpolasi.

Pada penelitian ini, diasumsikan bahwa nilai lubang / voksel kosong dipengaruhi oleh nilai voksel tetangga berdasarkan jaraknya. Semakin dekat jarak voksel tetangga terhadap lubang / voksel kosong, maka pengaruhnya semakin besar. Sebaliknya semakin jauh jarak voksel tetangga terhadap lubang / voksel kosong, maka pengaruhnya juga semakin kecil, hingga pada jarak tertentu (melebihi radius) akan dianggap sama sekali tidak berpengaruh terhadap nilai lubang / voksel.

Maka dari itu perlu dilakukan penghitungan nilai jarak antara lubang / voksel kosong dengan setiap voksel tetangga. Cara menghitungnya adalah dengan menghitung akar pangkat dua dari kuadrat selisih antara dua titik baik pada sumbu x, sumbu y maupun sumbu z. Misalnya, terdapat sebuah lubang (I_h) dan sebuah voksel tetangga (I_1) (gambar 3.10). Koordinat dari lubang adalah x_h , y_h , dan z_h , sedangkan koordinat dari voksel adalah x_1 , y_1 , dan z_1 . Untuk melakukan proses interpolasi, pertama kali yang harus dilakukan adalah menghitung jarak (d) antara lubang (I_h) dengan voksel tetangga (I_1). Untuk menghitung jarak antara lubang dengan voksel tetangga, dapat digunakan rumus Euclidian pada Formula 3.1.



Gambar 3.10 Posisi lubang (I_h) dan vokal tetangga (I_1)

$$d_1 = \sqrt{(x_1 - x_h)^2 + (y_1 - y_h)^2 + (Z_1 - Z_h)^2} \quad 3.1$$

d_1 = Jarak antara lubang (I_h) dan vokal tetangga (I_1)

x_1 = Koordinat vokal tetangga (I_1) pada sumbu x

x_h = Koordinat lubang (I_h) pada sumbu x

y_1 = Koordinat vokal tetangga (I_1) pada sumbu y

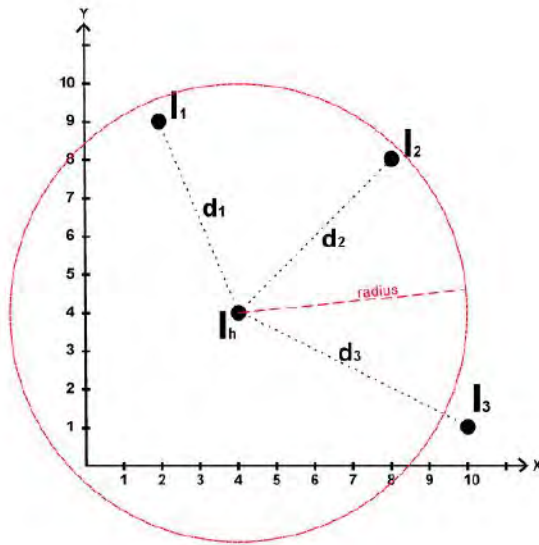
y_h = Koordinat lubang (I_h) pada sumbu y

Z_1 = Koordinat vokal tetangga (I_1) pada sumbu z

Z_h = Koordinat lubang (I_h) pada sumbu z

3.6.2. Menentukan Radius

Proses interpolasi yang dilakukan pada penelitian ini beracuan pada nilai nilai vokal dari tetangga. Namun jumlah vokal tetangga sangatlah banyak. Misalnya jika lubang / vokal kosong yang terdapat pada array 3d adalah sebesar 10% dari total vokal yang ada, maka dari total $115 \times 141 \times 419 = 6794085$ vokal yang ada, terdiri dari 679408 buah lubang / vokal kosong, dan 6114677 vokal tetangga. Sebanyak 6114677 buah vokal tetangga dan dengan jarak yang bermacam macam dan dengan pengaruh yang berbeda beda terhadap nilai intensitas dari lubang / vokal kosong, tentu saja akan memberatkan proses komputasi.



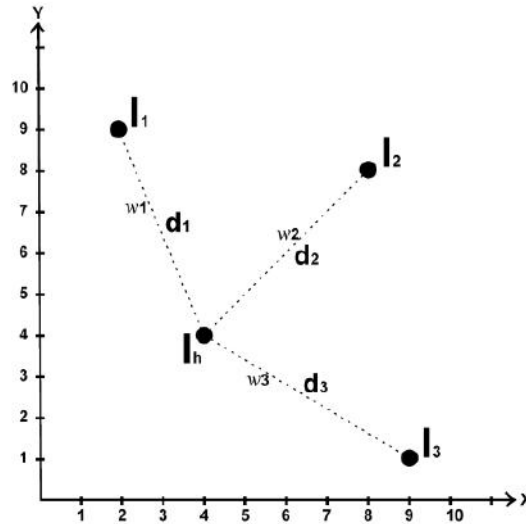
Gambar 3.11 Menentukan titik acuan berdasarkan nilai radius

Maka untuk meringankan komputasi, maka pada penelitian ini digunakan nilai radius sebagai filter dari vokal tetangga yang kemudian akan digunakan sebagai titik acuan. Misalnya terdapat sebuah lubang (I_h) dan tiga buah vokal tetangga (I_1, I_2 , dan I_3) (Gambar 3.11). Jarak antara vokal tetangga I_1, I_2 , dan I_3 terhadap lubang (I_h) adalah d_1, d_2 , dan d_3 . Nilai radius pada Gambar 3.11 ditandai dengan lingkaran merah. Maka kemudian jarak setiap vokal tetangga diperiksa satu persatu, dibandingkan dengan nilai radius. Jika jarak vokal tetangga lebih kecil dari radius, maka vokal tetangga tersebut akan digunakan dalam proses interpolasi. Sebaliknya jika jarak vokal tetangga terhadap lubang / vokal kosong melebihi nilai radius yang ditentukan, maka vokal tetangga tersebut dianggap tidak berpengaruh dan tidak digunakan dalam proses interpolasi.

3.6.3. Menentukan Bobot

Selanjutnya titik titik vokal yang berada didalam radius tersebut diberikan bobot yang berbeda beda. Nilai bobot untuk setiap vokal tetangga berbeda beda tergantung jarak vokal tetangga dengan lubang / vokal kosong, seperti pada Gambar 3.12. Semakin dekat jarak vokal tetangga dengan hole yang akan diasumsikan nilainya, maka pengaruhnya dianggap semakin besar, dan nilai bobot yang diberikan juga harus lebih besar. Begitu pula sebaliknya, semakin jauh jarak

voksel tetangga dengan hole yang akan diasumsikan nilainya, maka pengaruhnya akan dianggap semakin kecil pula, dan nilai bobot yang diberikan juga harus semakin kecil.



Gambar 3.12 Bobot voksel tetangga (w_1) (w_2) (w_3) berdasarkan nilai radius.

Ide dari penelitian ini adalah memberikan bobot yang nilainya unik pada setiap voksel tetangga, dengan asumsi semakin dekat tetangga dengan lubang / voksel kosong, maka pengaruhnya (bobot) semakin besar, begitu pula sebaliknya. Maka memenuhi asumsi tersebut, bobot yang diberikan pada voksel tetangga adalah seper dari nilai jaraknya ($\frac{1}{d}$). Kemudian untuk meningkatkan selisih bobot antara setiap voksel tetangga, maka pada penelitian ini nilai jaraknya dikuadratkan menjadi $\frac{1}{d^2}$. Kemudian untuk menjaga agar nilai bobot tetap proporsional, maka kemudian nilai tersebut ($\frac{1}{d^2}$) dibagi dengan jumlah seper kuadrat dari jarak semua bobot. Sehingga formula lengkap untuk menghitung nilai bobot voksel tetangga adalah pada Formula nomor 3.2.

$$w = \frac{\left(\frac{1}{d^2}\right)}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}} \quad 3.2$$

w = Bobot vokal tetangga

d = Jarak vokal tetangga terhadap lubang / vokal kosong

d_i = Jarak vokal tetangga ke I terhadap lubang / vokal kosong

n = Jumlah vokal tetangga

3.6.4. Proses Interpolasi

Data vokal yang nilainya kosong (lubang) sudah dapat ditemukan pada proses sebelumnya. Maka kemudian vokal vokal kosong ini harus diasumsikan nilainya untuk kemudian dilakukan direkonstruksi ulang.

Nilai vokal yang kosong diasumsikan berdasarkan pada nilai vokal vokal sekitar yang tidak kosong. Maka dari itu perlu dilakukan pembatasan terlebih dahulu vokal vokal yang dianggap sebagai vokal sekitar. Pembahasan secara khusus tentang radius telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Selanjutnya titik titik vokal yang masuk ke dalam radius tersebut akan diolah untuk dijadikan sebagai acuan dalam mengasumsikan nilai vokal yang masih kosong.

Perlu diingat bahwa untuk bisa digunakan sebagai titik acuan / titik sekitar, titik titik vokal harus memenuhi dua syarat. Syarat yang pertama adalah lokasi titik vokal tersebut berada didalam radius, sedangkan syarat kedua adalah titik vokal tersebut bukanlah vokal kosong. Jadi yang akan diproses hanyalah titik vokal yang berada dalam rentang radius dan nilai vokalnya tidak kosong.

Sebelumnya titik titik vokal yang termasuk kedalam radius sudah ditentukan, nilai bobot masing masing titik vokal juga sudah ditentukan. Maka untuk mengasumsikan nilai vokal kosong yang dicari, tinggal menjumlahkan hasil perkalian nilai vokal dengan bobot vokal pada setiap titik vokal yang memenuhi kriteria (termasuk dalam radius dan tidak vokal kosong).

Misalnya terdapat sebuah vokal kosong (I). Dimana terdapat vokal vokal lain sebanyak n dengan nilai bobot w . Maka nilai vokal kosong I dapat ditentukan menggunakan Formula nomor 3.3.

$$I = \sum_{1}^n I_n \cdot w_n \quad 3.3$$

I = Nilai lubang / vokal kosong

I_n = Nilai vokal tetangga ke n

w_n = Bobot vokal tetangga ke n

n = Jumlah vokal tetangga

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Dalam bab IV ini akan dibahas tentang pengujian terhadap sistem yang telah dibuat. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kekurangan dan juga kelebihan dari sistem yang telah dibuat.

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari dua jenis, yaitu pengujian untuk mengetahui pengaruh dari faktor jumlah lubang, dan yang kedua adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari nilai radius yang digunakan. Performa dari sistem yang dibuat pada penelitian ini dihitung dengan cara menghitung nilai mean square error antara data 3dimensi awal sebelum dilakukan proses interpolasi dengan data 3dimensi yang telah mengalami proses interpolasi. Sedangkan ukuran data 3 dimensi yang digunakan adalah sebesar 115 x 141 x 419.

4.1. Pengujian Metode Interpolasi

Pada subbab ini akan dilakukan pengujian dan analisa hasil pengujian dari metode interpolasi yang berdasarkan bobot dari vokal acuan.

4.1.1. Pengujian Berdasarkan Jumlah Lubang

Pengujian sistem berdasarkan jumlah lubang ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem yang telah dibuat berdasarkan dari jumlah lubang yang akan diisi / diinterpolasi. Prosentase lubang pada penelitian ini adalah prosentase lubang dibandingkan dengan jumlah vokal keseluruhan. Selain itu, pengujian ini juga bisa untuk mengetahui jumlah lubang terbaik yang bisa digunakan untuk setiap bentang radius yang diberikan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menjalankan sistem dengan variasi nilai jumlah lubang yang diubah ubah.

Tujuan

Pengujian sistem berdasarkan jumlah lubang ini bertujuan untuk mengetahui performa sistem yang diukur berdasarkan selisih nilai array dari data 3 dimensi sebelum dilakukan interpolasi terhadap data 3 dimensi setelah dilakukan proses interpolasi..

Prosedur

1. Buka dan jalankan program interpolasi yang telah dibuat pada perangkat komputer
2. Berikan nilai 10 sebagai bentang radius titik yang akan diinterpolasi
3. Berikan nilai 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90%, secara berturut turut sebagai nilai prosentase jumlah lubang yang akan diinterpolasi
4. Simpan nilai selisih antara data lubang awal dengan data lubang hasil interpolasi. Amati nilai error yang didapat.
5. Ulangi langkah nomor 2 dan nomor 3 dengan variasi nilai bentang radius sebesar 10, 20, 30, 40, dan 50 secara berturut turut

Amati nilai error setiap kali variabel jumlah lubang dan bentang radius diubah

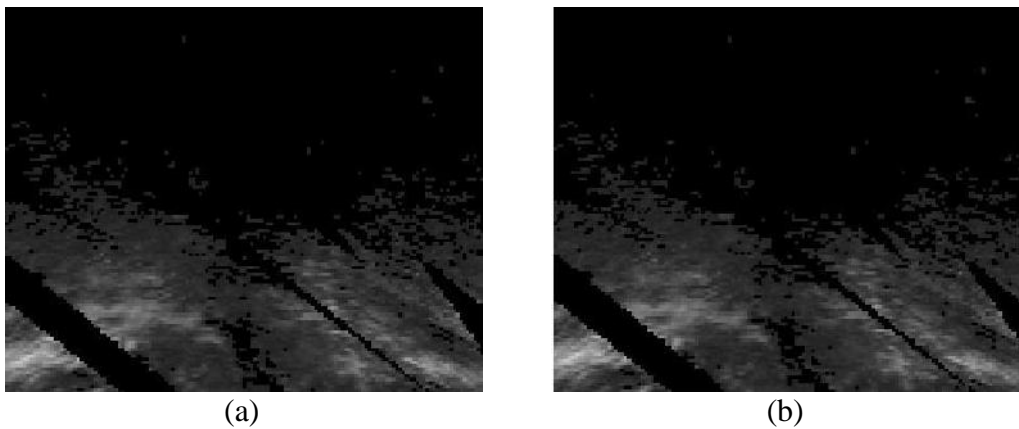
Hasil Pengujian

Tabel 4.1 Pengujian dengan radius 10

Radius	Lubang	Error	Δ
10	50%	16,186 piksel	16,186 piksel
10	60%	22,010 piksel	5,824 piksel
10	70%	32,005 piksel	9,995 piksel
10	80%	52,667 piksel	20,661 piksel
10	90%	116,248 piksel	63,581 piksel
Rata rata		47,823 piksel	23,249 piksel

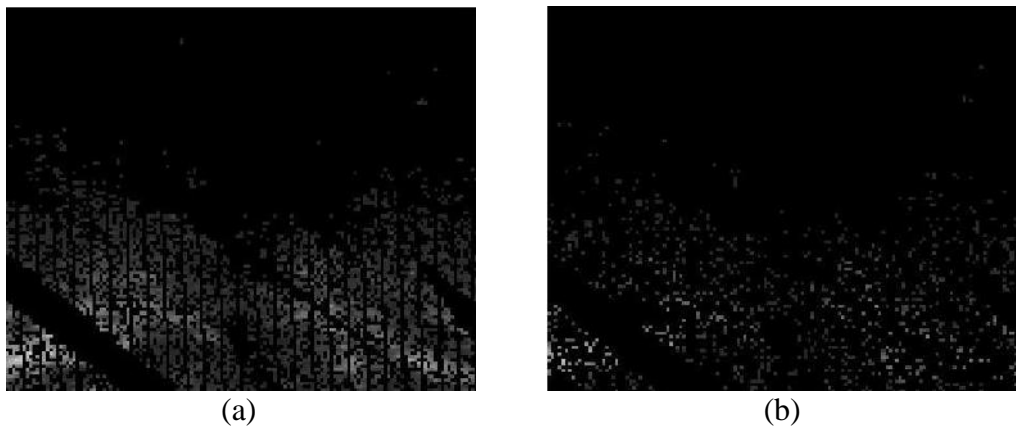
Data error pada Tabel 4.1 menunjukkan bahwa untuk radius 10, nilai error terkecil adalah 16,186 piksel pada saat lubang sebesar 50%. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah prosentase lubang yang

diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 116,248 piksel pada saat jumlah lubang sebesar 90%. Nilai error rata rata untuk semua jumlah prosentase lubang dengan nilai radius 10 adalah 47,823 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 23,249 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai radius 10, setiap perubahan jumlah prosentase jumlah lubang yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 23,249 piksel.



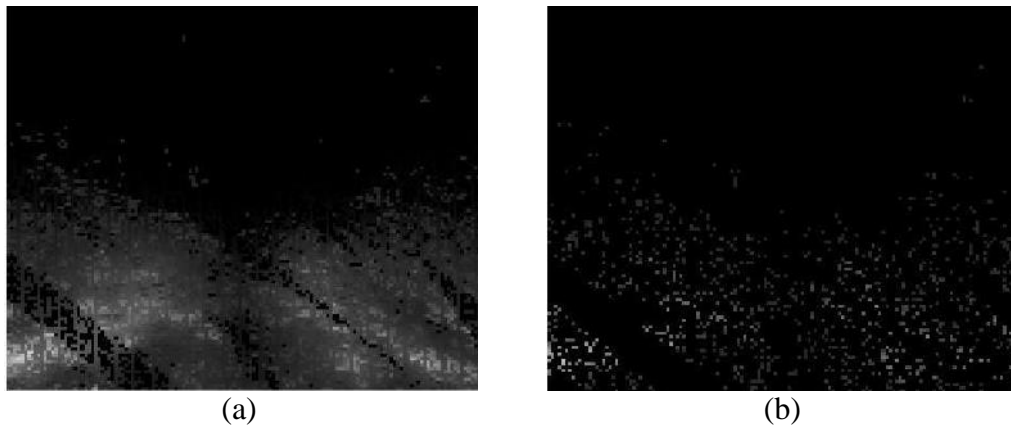
Gambar 4.1 Data citra frame 1 untuk nilai radius 10.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)



Gambar 4.2 Data citra frame 1 untuk nilai radius 10.

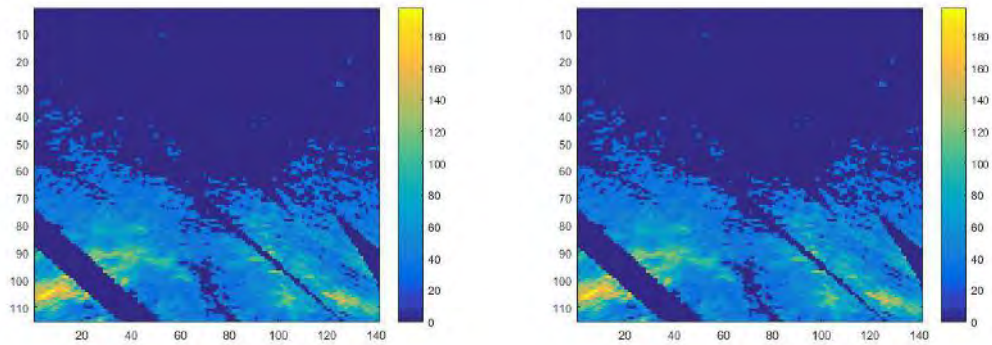
(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%



Gambar 4.3 Data citra frame 1 untuk nilai radius 10.
 (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%

Secara kasat mata pada Gambar 4.1 Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 menunjukkan perbandingan antara data citra dengan nilai error terkecil dan terbesar. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 a dan b. Namun perbedaannya terdapat pada jumlah lubang yang diberikan, pada gambar ditunjukkan dengan Gambar 4.2 a dan b. Data citra dengan lubang 50% pada Gambar 4.2 a terlihat tidak persis sama dengan data citra asli pada Gambar 4.1 a, namun masih terlihat kemiripannya dengan jelas. Namun untuk data citra dengan lubang 90% pada Gambar 4.2 b hanya terlihat titik titik saja, hal ini karena banyaknya jumlah lubang yang diberikan, yaitu mencapai 90%. Maka citra hasil interpolasinya juga dapat dilihat bahwa data citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 50% yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 a terlihat lebih mirip dengan data asli daripada citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 90% pada Gambar 4.3 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra radius 10 dengan prosentase jumlah lubang 50% dan 90%, dapat mengacu pada Gambar 4.4, Gambar 4.5, dan Gambar 4.6. Gambar 4.4 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya voksels kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.

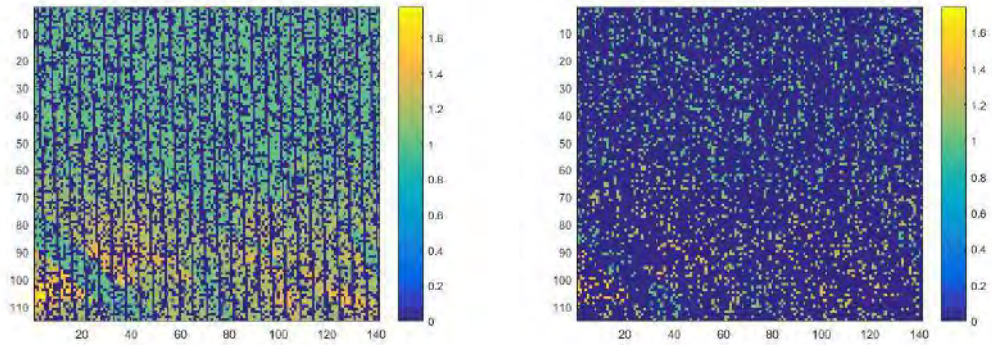


(a)

(b)

Gambar 4.4 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 10, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%

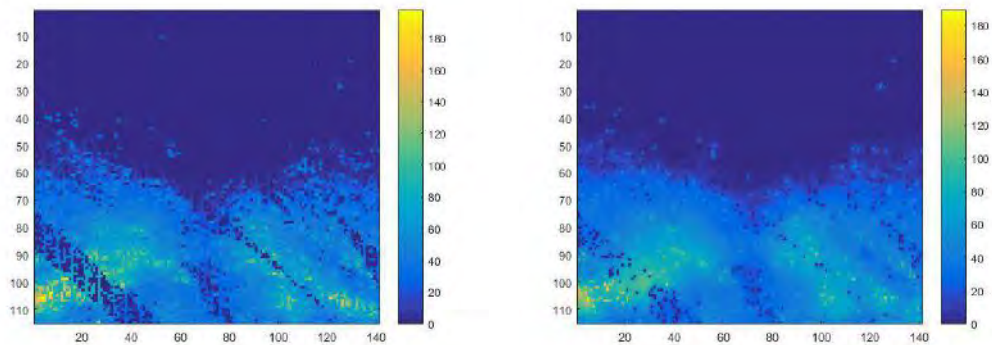


(a)

(b)

Gambar 4.5 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 10, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%



(a)

(b)

Gambar 4.6 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 10, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%

Gambar 4.5 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.5 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.5 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.5 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.5 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 50% pada Gambar 4.5 a, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sebanding dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.6. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.4 (data awal citra) dan Gambar 4.6 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

Data hasil interpolasi pada Gambar 4.6 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.4, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.6. Namun memang terlihat bahwa data Gambar 4.6 a (prosentase jumlah lubang 50%) lebih jelas dan lebih mirip dengan data awal daripada data Gambar 4.6 b (prosentase jumlah lubang 90%), hal ini memang karena perbedaan jumlah lubangnya cukup besar dan perbedaan nilai errornya juga besar.

Data error pada Tabel 4.2 dapat terlihat bahwa untuk radius 20, nilai error terkecil adalah 17,759 piksel pada saat lubang sebesar 50%. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah prosentase lubang yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 126,918 piksel pada saat jumlah lubang sebesar 90%.

Tabel 4.2 Pengujian dengan radius 20

Radius	Lubang	Error	Δ
20	50%	17,759 piksel	17,759 piksel
20	60%	24,134 piksel	6,374 piksel
20	70%	35,069 piksel	10,934 piksel
20	80%	57,660 piksel	22,591 piksel
20	90%	126,918 piksel	69,257 piksel
Rata rata		52,308 piksel	25,383 piksel

Tabel 4.2 menunjukkan nilai error rata rata untuk semua jumlah prosentase lubang dengan nilai radius 20 adalah 52,308 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 25,383 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai radius 20, setiap perubahan jumlah prosentase jumlah lubang yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 25,383 piksel.



(a)



(b)

Gambar 4.7 Data citra frame 1 untuk nilai radius 20.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)



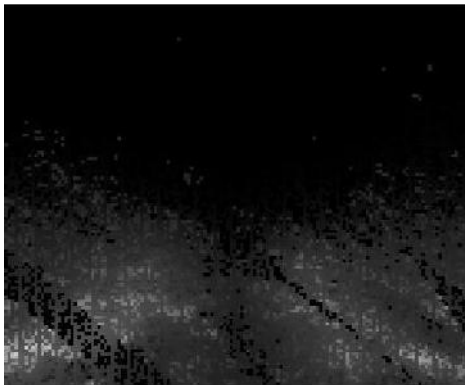
(a)



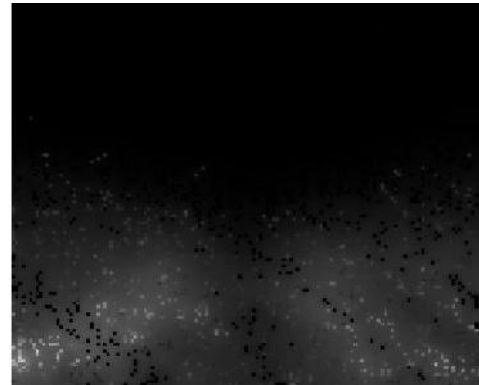
(b)

Gambar 4.8 Data citra frame 1 untuk nilai radius 20.

(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%



(a)



(b)

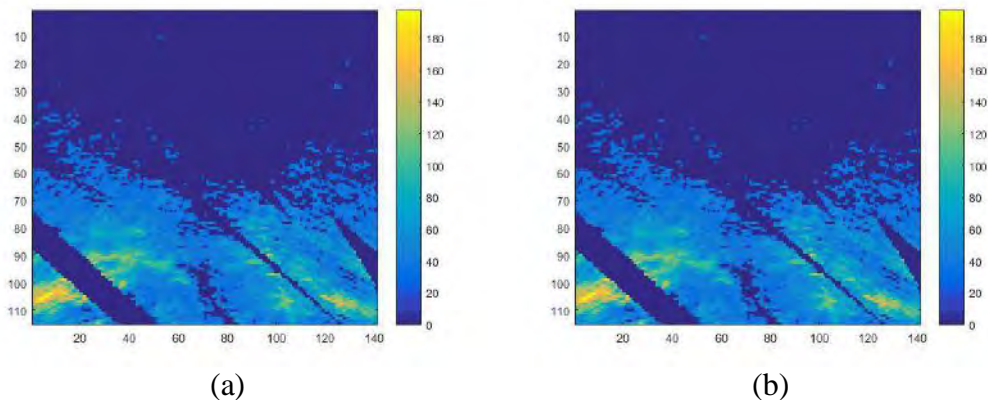
Gambar 4.9 Data citra frame 1 untuk nilai radius 20.

(a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%

Secara kasat mata pada Gambar 4.7, Gambar 4.8 dan Gambar 4.9 dapat terlihat perbandingan antara data citra dengan nilai error terkecil dan terbesar. Data awal yang digunakan adalah sama, yaitu Gambar 4.7 a dan b. Namun perbedaannya terdapat pada jumlah lubang yang diberikan, pada Gambar ditunjukkan dengan Gambar 4.8 a dan b. Data citra dengan lubang 50% pada Gambar 4.8 a terlihat tidak persis sama dengan data citra asli pada 4.7 a, namun masih terlihat kemiripannya dengan jelas. Namun untuk data citra dengan lubang 90% pada Gambar 4.8 b hanya terlihat titik titik saja, hal ini karena banyaknya jumlah lubang yang diberikan, yaitu mencapai 90%. Maka citra hasil interpolasinya juga dapat dilihat bahwa data citra hasil interpolasi dengan jumlah

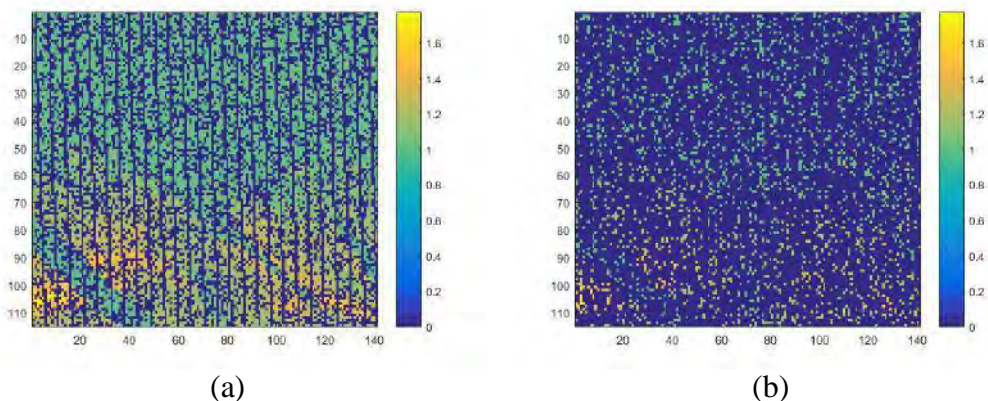
lubang 50% pada Gambar 4.9 a terlihat lebih mirip dengan data asli daripada citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 90% pada Gambar 4.9 b.

Agar lebih mudah dalam membandingkan data awal citra, data posisi lubang voksels dan data hasil interpolasi citra radius 20 dengan prosentase jumlah lubang 50% dan 90%, dapat mengacu pada Gambar 4.10, Gambar 4.11, dan Gambar 4.12. Gambar 4.10 menunjukkan nilai intensitas citra data awal sebelum adanya voksel kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.



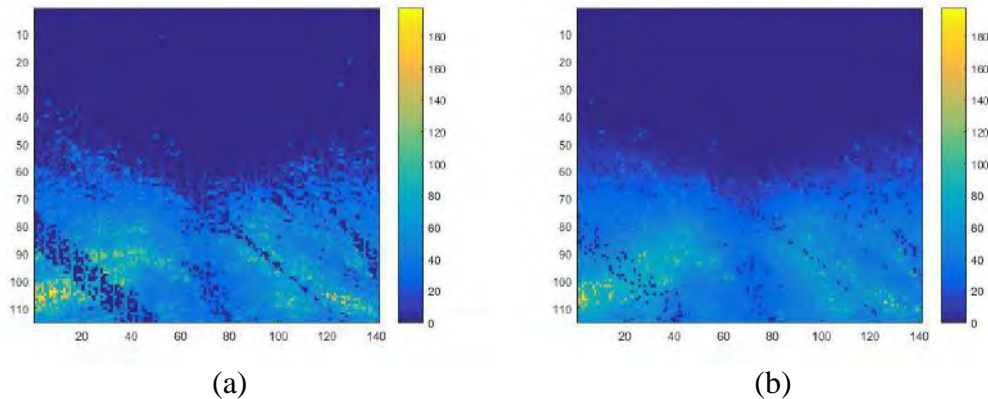
Gambar 4.10 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 20, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%



Gambar 4.11 Gambaran letak voksel kosong dalam array ketika nilai radius 20, voksel kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%



(a) (b)
 Gambar 4.12 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 20, ditampilkan dalam bentang warna.
 (a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%

Gambar 4.11 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.11 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.11 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.11 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.11 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 50% pada Gambar 4.11 a, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sebanding dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.12. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.10 (data awal citra) dan Gambar 4.12 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

Data hasil interpolasi pada Gambar 4.12 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.10, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data

hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.12. Namun memang terlihat bahwa data Gambar 4.12 a (prosentase jumlah lubang 50%) lebih jelas dan lebih mirip dengan data awal daripada data Gambar 4.12 b (prosentase jumlah lubang 90%), hal ini memang karena perbedaan jumlah lubangnya cukup besar dan perbedaan nilai errornya juga besar.

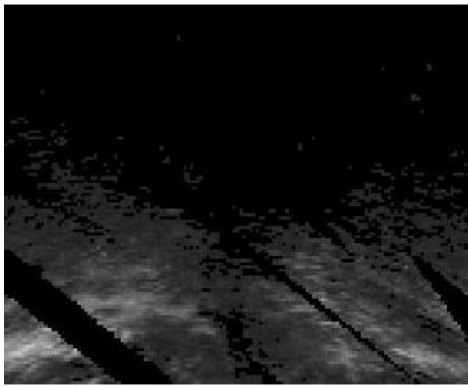
Tabel 4.3 Pengujian dengan radius 30

Radius	Lubang	Error	Δ
30	50%	18,952 piksel	18,952 piksel
30	60%	25,716 piksel	6,763 piksel
30	70%	37,396 piksel	11,679 piksel
30	80%	61,465 piksel	24,068 piksel
30	90%	135,157 piksel	73,692 piksel
Rata rata		55,737 piksel	27,031 piksel

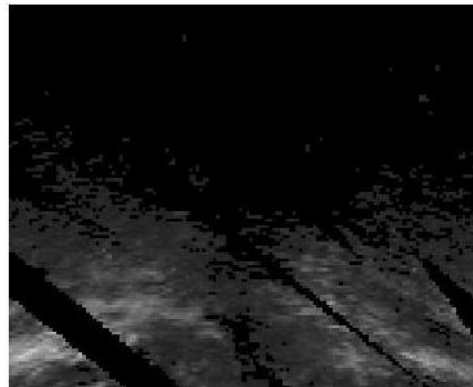
Data error pada Tabel 4.3 dapat terlihat bahwa untuk radius 30, nilai error terkecil adalah 18,952 piksel pada saat lubang sebesar 50%. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah prosentase lubang yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 135,157 piksel pada saat jumlah lubang sebesar 90%. Nilai error rata rata untuk semua jumlah prosentase lubang dengan nilai radius 30 adalah 55,737 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 27,031 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai radius 30, setiap perubahan jumlah prosentase jumlah lubang yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 27,031 piksel.

Secara kasat mata pada Gambar 4.13, Gambar 4.14 dan Gambar 4.15 dapat terlihat perbandingan antara data citra dengan nilai error terkecil dan terbesar. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13 a dan b. Namun perbedaannya terdapat pada jumlah lubang yang diberikan, pada Gambar ditunjukkan dengan Gambar 4.14 a dan b. Data citra

dengan lubang 50% pada Gambar 4.14 a terlihat tidak persis sama dengan data citra asli pada 4.13 a, namun masih terlihat kemiripannya dengan jelas. Namun untuk data citra dengan lubang 90% pada Gambar 4.14 b hanya terlihat titik titik saja, hal ini karena banyaknya jumlah lubang yang diberikan, yaitu mencapai 90%. Maka citra hasil interpolasinya juga dapat dilihat bahwa data citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 50% pada Gambar 4.15 a terlihat lebih mirip dengan data asli daripada citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 90% pada Gambar 4.15 b.



(a)



(b)

Gambar 4.13 Data citra frame 1 untuk nilai radius 30.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)



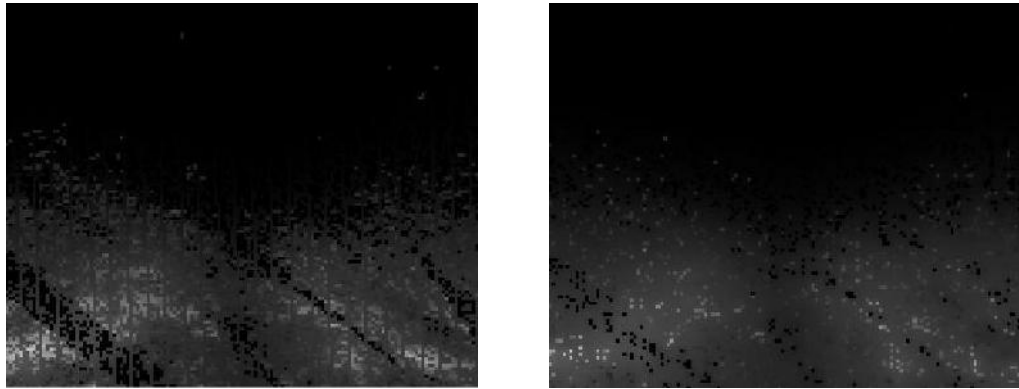
(a)



(b)

Gambar 4.14 Data citra frame 1 untuk nilai radius 30.

(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%



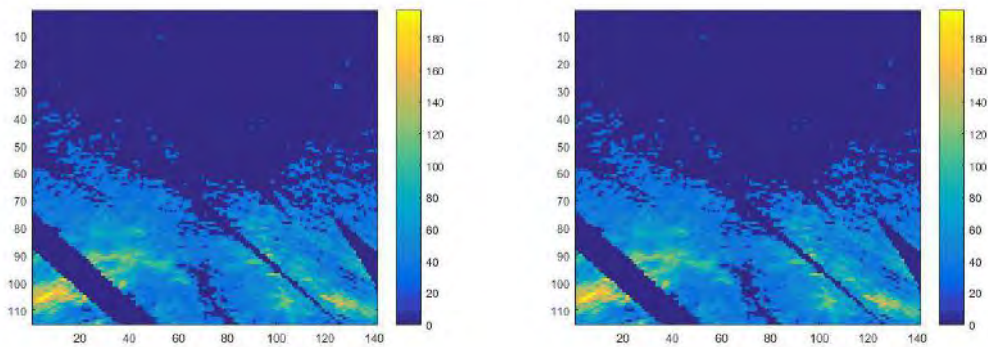
(a)

(b)

Gambar 4.15 Data citra frame 1 untuk nilai radius 30.

- (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%

Agar lebih mudah dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra radius 30 dengan prosentase jumlah lubang 50% dan 90%, dapat mengacu pada Gambar 4.16, Gambar 4.17, dan Gambar 4.18. Gambar 4.16 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya vokal kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.

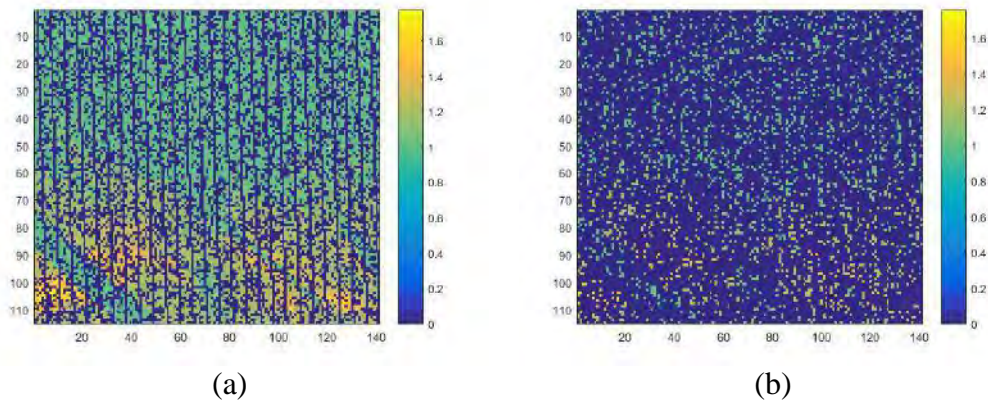


(a)

(b)

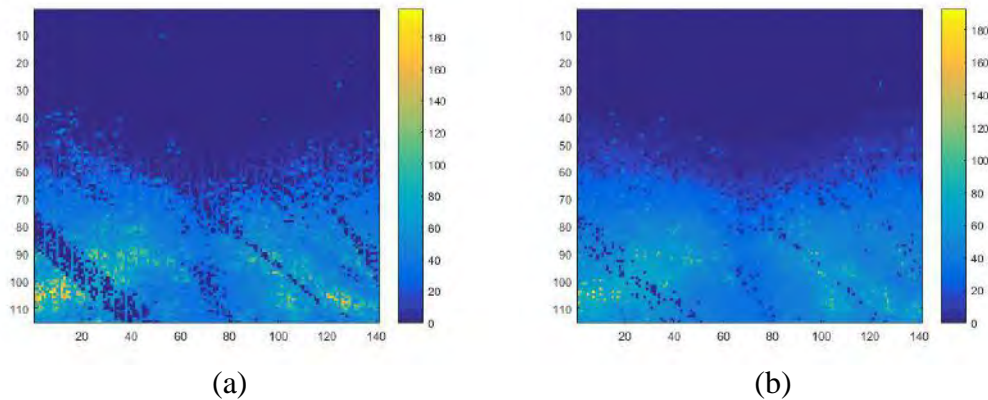
Gambar 4.16 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 30, ditampilkan dalam bentang warna.

- (a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%



Gambar 4.17 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 30, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%



Gambar 4.18 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 30, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%

Gambar 4.17 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.17 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.17 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.17 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.17 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 50% pada Gambar 4.17 a,

warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sebanding dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.18. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.16 (data awal citra) dan Gambar 4.18 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

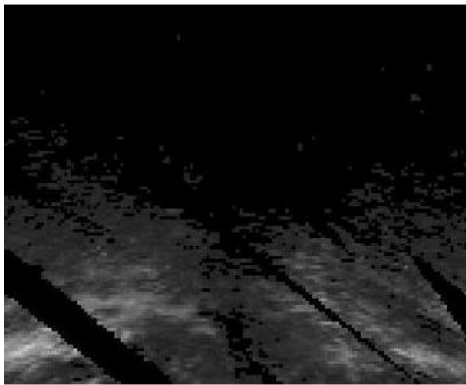
Data hasil interpolasi pada Gambar 4.18 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.16, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 dan Gambar 4.18. Namun memang terlihat bahwa data Gambar 4.18 a (prosentase jumlah lubang 50%) lebih jelas dan lebih mirip dengan data awal daripada data Gambar 4.18 b (prosentase jumlah lubang 90%), hal ini memang karena perbedaan jumlah lubangnya cukup besar dan perbedaan nilai errornya juga besar.

Tabel 4.4 Pengujian dengan radius 40

Radius	Lubang	Error	Δ
40	50%	19,965 piksel	19,965 piksel
40	60%	27,118 piksel	7,152 piksel
40	70%	39,383 piksel	12,265 piksel
40	80%	64,750 piksel	25,366 piksel
40	90%	142,223 piksel	77,473 piksel
Rata rata		58,688 piksel	28,444 piksel

Data error pada Tabel 4.4 dapat terlihat bahwa untuk radius 40, nilai error terkecil adalah 19,965 piksel pada saat lubang sebesar 50%. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah prosentase lubang yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 142,223 piksel pada saat jumlah lubang sebesar 90%. Nilai error rata rata untuk semua jumlah

prosentase lubang dengan nilai radius 40 adalah 58,688 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 28,444 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai radius 40, setiap perubahan jumlah prosentase jumlah lubang yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 28,444 piksel.



(a)



(b)

Gambar 4.19 Data citra frame 1 untuk nilai radius 40.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)



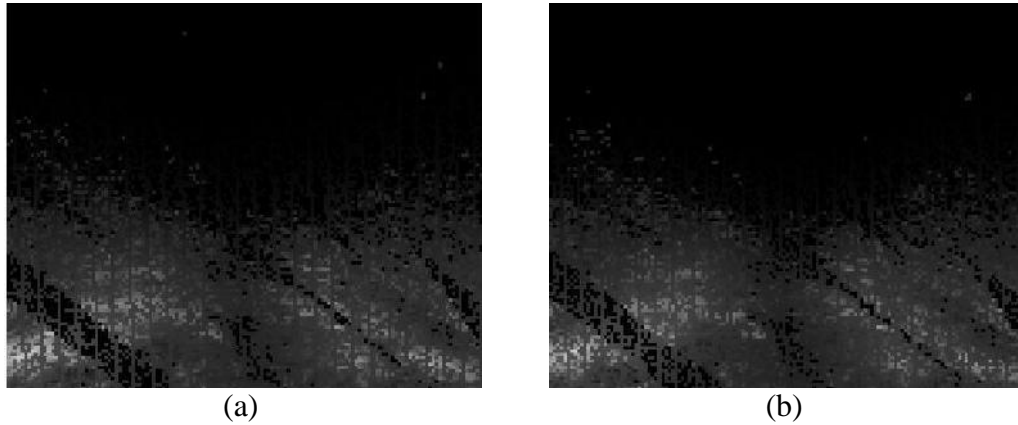
(a)



(b)

Gambar 4.20 Data citra frame 1 untuk nilai radius 40.

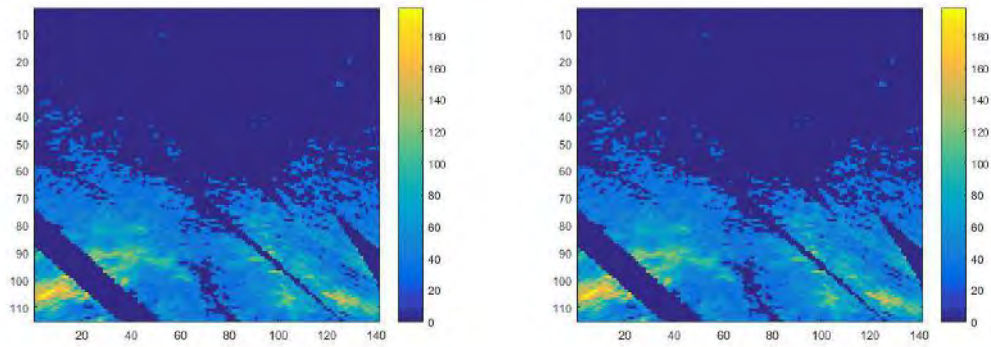
(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%



Gambar 4.21 Data citra frame 1 untuk nilai radius 40.
 (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%

Secara kasat mata pada Gambar 4.19, Gambar 4.20 dan Gambar 4.21 dapat terlihat perbandingan antara data citra dengan nilai error terkecil dan terbesar. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19 a dan b. Namun perbedaannya terdapat pada jumlah lubang yang diberikan, pada Gambar ditunjukkan dengan Gambar 4.20 a dan b. Data citra dengan lubang 50% pada Gambar 4.20 a terlihat tidak persis sama dengan data citra asli pada 4.19 a, namun masih terlihat kemiripannya dengan jelas. Namun untuk data citra dengan lubang 90% pada Gambar 4.20 b hanya terlihat titik titik saja, hal ini karena banyaknya jumlah lubang yang diberikan, yaitu mencapai 90%. Maka citra hasil interpolasinya juga dapat dilihat bahwa data citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 50% pada Gambar 4.21 a terlihat lebih mirip dengan data asli daripada citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 90% pada Gambar 4.21 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra radius 40 dengan prosentase jumlah lubang 50% dan 90%, dapat mengacu pada Gambar 4.22, Gambar 4.23, dan Gambar 4.24. Gambar 4.22 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya vokal kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.

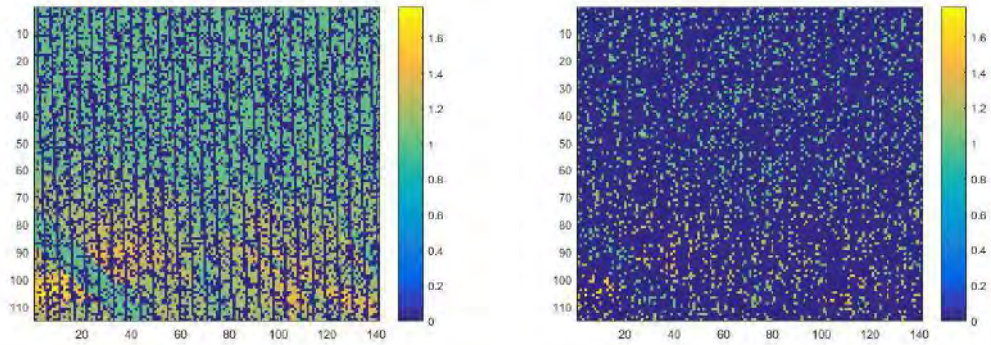


(a)

(b)

Gambar 4.22 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 40, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%

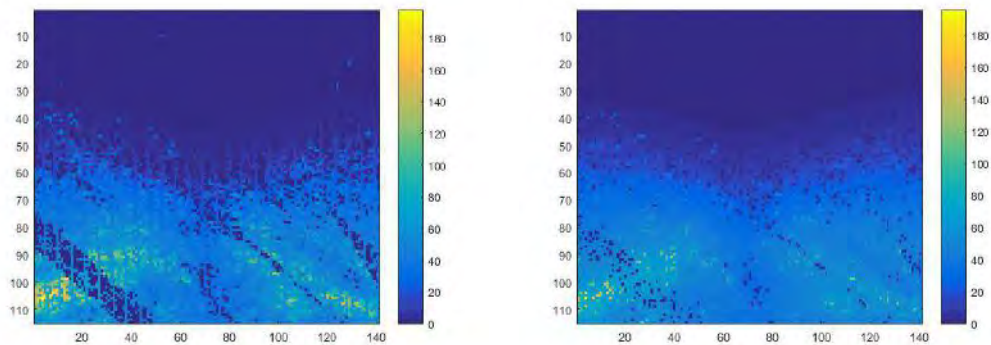


(a)

(b)

Gambar 4.23 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 40, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%



(a)

(b)

Gambar 4.24 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 40, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%

Gambar 4.23 menunjukkan letak voksel kosong dalam array. Letak voksel kosong pada Gambar 4.23 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.23 hanya untuk menunjukkan letak voksel kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.23 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak voksel kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase voksel kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.23 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya voksel kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah voksel kosong 50% pada Gambar 4.23 a, warna biru yang menunjukkan voksel kosong jumlahnya sebanding dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.24. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.22 (data awal citra) dan Gambar 4.24 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

Data hasil interpolasi pada Gambar 4.24 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.22, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.22 dan Gambar 4.24. Namun memang terlihat bahwa data Gambar 4.24 a (prosentase jumlah lubang 50%) lebih jelas dan lebih mirip dengan data awal daripada data Gambar 4.24 b (prosentase jumlah lubang 90%), hal ini memang karena perbedaan jumlah lubangnya cukup besar dan perbedaan nilai errornya juga besar.

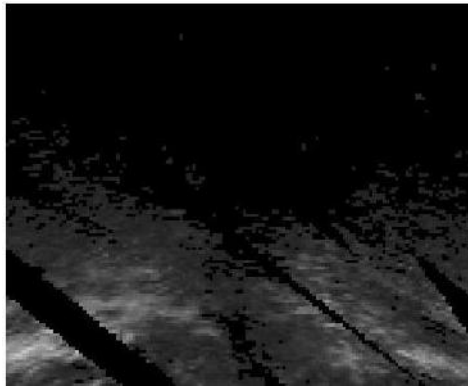
Data error pada Tabel 4.5 dapat terlihat bahwa untuk radius 50, nilai error terkecil adalah 20,888 piksel pada saat lubang sebesar 50%. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan jumlah prosentase lubang yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 148,711 piksel pada saat jumlah lubang sebesar 90%.

Tabel 4.5 Pengujian dengan radius 50

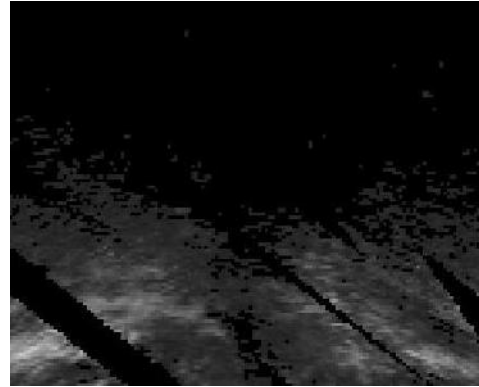
Radius	Lubang	Error	Δ
50	50%	20,888 piksel	20,888 piksel
50	60%	28,348 piksel	7,460 piksel
50	70%	41,212 piksel	12,863 piksel
50	80%	67,652 piksel	26,440 piksel
50	90%	148,711 piksel	81,059 piksel
Rata rata		61,362 piksel	29,742 piksel

Tabel 4.5 menunjukkan nilai error rata rata untuk semua jumlah prosentase lubang dengan nilai radius 40 adalah 61,362 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 29,742 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai radius 50, setiap perubahan jumlah prosentase jumlah lubang yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 29,742 piksel.

Secara kasat mata pada Gambar 4.25, Gambar 4.26 dan Gambar 4.27 dapat terlihat perbandingan antara data citra dengan nilai error terkecil dan terbesar. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25 a dan b. Namun perbedaannya terdapat pada jumlah lubang yang diberikan, pada Gambar ditunjukkan dengan Gambar 4.26 a dan b. Data citra dengan lubang 50% pada Gambar 4.26 a terlihat tidak persis sama dengan data citra asli pada Gambar 4.25 a, namun masih terlihat kemiripannya dengan jelas. Namun untuk data citra dengan lubang 90% pada Gambar 4.26 b hanya terlihat titik titik saja, hal ini karena banyaknya jumlah lubang yang diberikan, yaitu mencapai 90%. Maka citra hasil interpolasinya juga dapat dilihat bahwa data citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 50% pada Gambar 4.27 a terlihat lebih mirip dengan data asli daripada citra hasil interpolasi dengan jumlah lubang 90% pada Gambar 4.27 b.



(a)



(b)

Gambar 4.25 Data citra frame 1 untuk nilai radius 50.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat jumlah lubang 50%) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%)



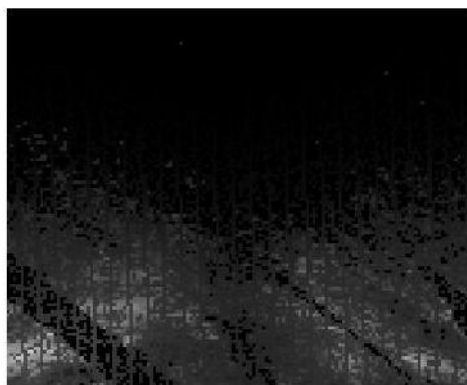
(a)



(b)

Gambar 4.26 Data citra frame 1 untuk nilai radius 50.

(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90%



(a)

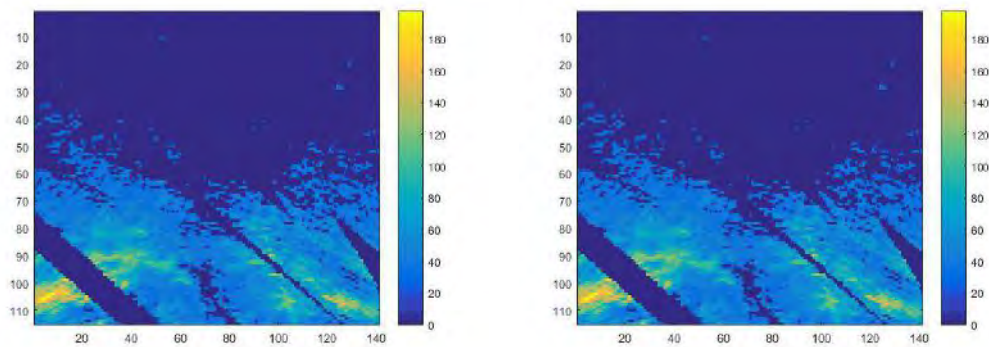


(b)

Gambar 4.27 Data citra frame 1 untuk nilai radius 50.

(a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90%

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra radius 50 dengan prosentase jumlah lubang 50% dan 90%, dapat mengacu pada Gambar 4.28, Gambar 4.29, dan Gambar 4.30. Gambar 4.28 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya vokal kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.

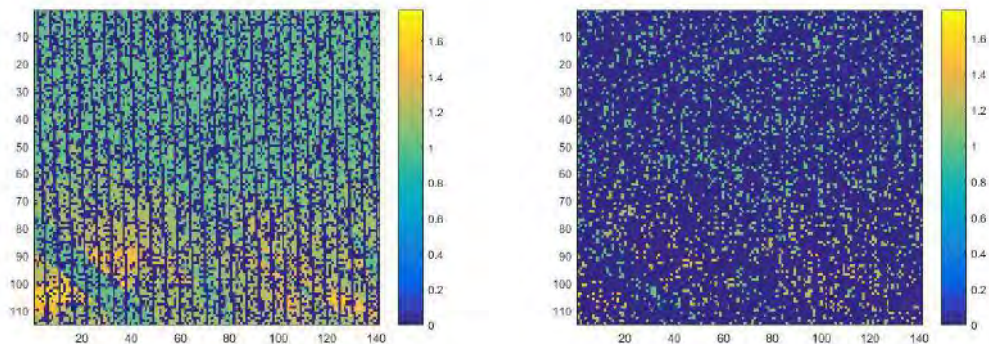


(a)

(b)

Gambar 4.28 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai radius 50, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat jumlah lubang 50% (b) Data dengan nilai error terbesar saat jumlah lubang 90%

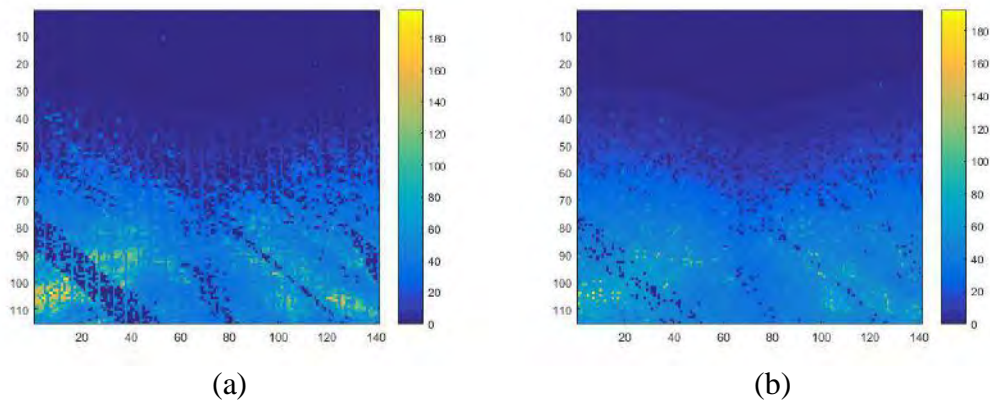


(a)

(b)

Gambar 4.29 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai radius 50, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%



Gambar 4.30 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai radius 50, ditampilkan dalam bentang warna.
(a) Data dengan prosentase jumlah lubang 50% (b) Data dengan prosentase jumlah lubang 90%

Gambar 4.29 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.29 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.29 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.29 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.29 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 50% pada Gambar 4.29 a, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sebanding dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.30. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.28 (data awal citra) dan Gambar 4.30 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

Data hasil interpolasi pada Gambar 4.30 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.28, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data

hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 dan Gambar 4.30. Namun memang terlihat bahwa data Gambar 4.30 a (prosentase jumlah lubang 50%) lebih jelas dan lebih mirip dengan data awal daripada data Gambar 4.30 b (prosentase jumlah lubang 90%), hal ini memang karena perbedaan jumlah lubangnya cukup besar dan perbedaan nilai errornya juga besar.

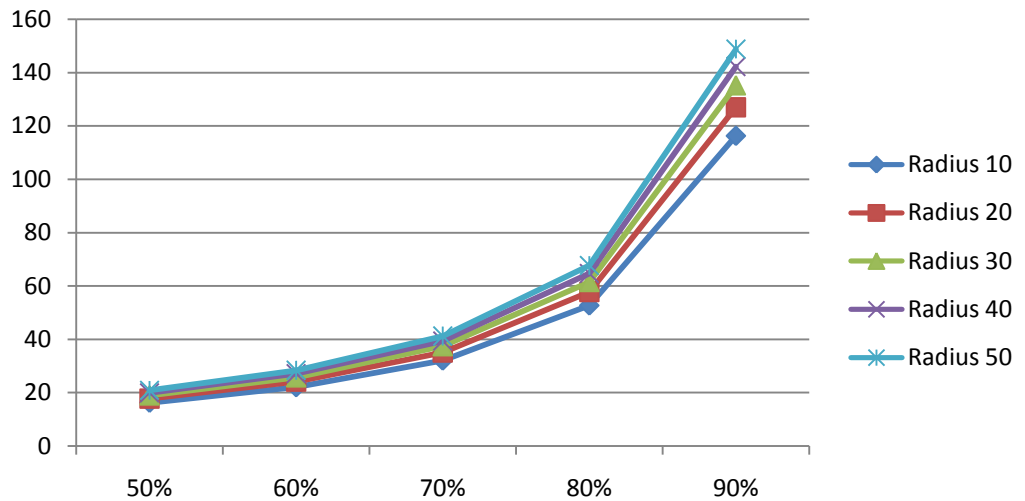
Tabel 4.6 Perbandingan nilai error untuk setiap radius

Radius	Lubang	Error	Δ
10	50% - 90%	47,823 piksel	23,249 piksel
20	50% - 90%	52,308 piksel	25,383 piksel
30	50% - 90%	55,737 piksel	27,031 piksel
40	50% - 90%	58,688 piksel	28,444 piksel
50	50% - 90%	61,362 piksel	29,742 piksel
Rata rata		55,184 piksel	26,770 piksel

Dari data Tabel 4.6 dapat terlihat bahwa secara keseluruhan, nilai radius yang menghasilkan error terkecil untuk semua variasi prosentase jumlah lubang adalah radius 10 dengan nilai error sebesar 47,823 piksel. Sedangkan nilai radius yang menghasilkan error terbesar untuk setiap variasi prosentase jumlah lubang yang diberikan adalah 50 dengan nilai error sebesar 61,362 piksel. Error rata rata dari semua data yang didapat adalah 55,184 piksel. Sedangkan rata rata selisih error dari seluruh data hasil percobaan adalah 26,770 piksel, hal ini menunjukkan bahwa setiap perubahan variabel prosentase jumlah lubang yang diberikan, rata rata mengubah nilai error sebesar 26,770 piksel.

Perbandingan dari keseluruhan data error untuk setiap variasi nilai radius ditunjukkan pada Gambar 4.31. Dari Gambar 4.31 terlihat bahwa untuk setiap nilai radius yang sama, semakin besar prosentase jumlah lubang mengakibatkan nilai error juga semakin besar. Nilai error berbanding lurus dengan nilai prosentase jumlah lubang. Sedangkan semakin besar radius yang diberikan, nilai error yang dihasilkan juga semakin besar. Atau bisa dikatakan bahwa nilai error berbanding lurus terhadap nilai radius. Selisih error yang didapatkan untuk setiap

pengujian, semakin kecil nilai radius yang diberikan, rata rata selisih error yang didapatkan semakin kecil.



Gambar 4.31 Grafik nilai error untuk setiap nilai radius

4.1.2. Pengujian Berdasarkan Nilai Radius

Pengujian sistem berdasarkan nilai radius ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem yang telah dibuat berdasarkan dari nilai radius yang digunakan. Nilai radius yang dimaksudkan pada penelitian ini adalah nilai yang akan digunakan sebagai acuan untuk memilih vokal tetangga yang akan digunakan dalam proses interpolasi. Selain itu, pengujian ini juga bisa untuk mengetahui nilai radius yang bisa digunakan untuk setiap variasi prosentase jumlah lubang yang diberikan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menjalankan sistem dengan variasi nilai radius yang diubah ubah.

Tujuan

Pengujian sistem berdasarkan jumlah lubang ini bertujuan untuk mengetahui performa sistem yang diukur berdasarkan selisih nilai array dari data 3d sebelum dilakukan interpolasi terhadap data 3d setelah dilakukan proses interpolasi..

Prosedur

1. Buka dan jalankan program interpolasi yang telah dibuat pada perangkat komputer

2. Berikan nilai 50% sebagai prosentase jumlah lubang yang akan diinterpolasi
3. Berikan nilai 10, 20, 30, 40, dan 50, secara berturut turut sebagai nilai radius
4. Simpan nilai selisih antara data awal dengan data hasil interpolasi. Amati nilai error yang didapat.
5. Ulangi langkah nomor 2, 3 dan 4 dengan variasi nilai prosentase jumlah lubang sebesar 50%, 60%, 70%, 80%, dan 90% secara berturut turut

Amati nilai error setiap kali variabel jumlah lubang dan bentang radius diubah

Hasil Pengujian

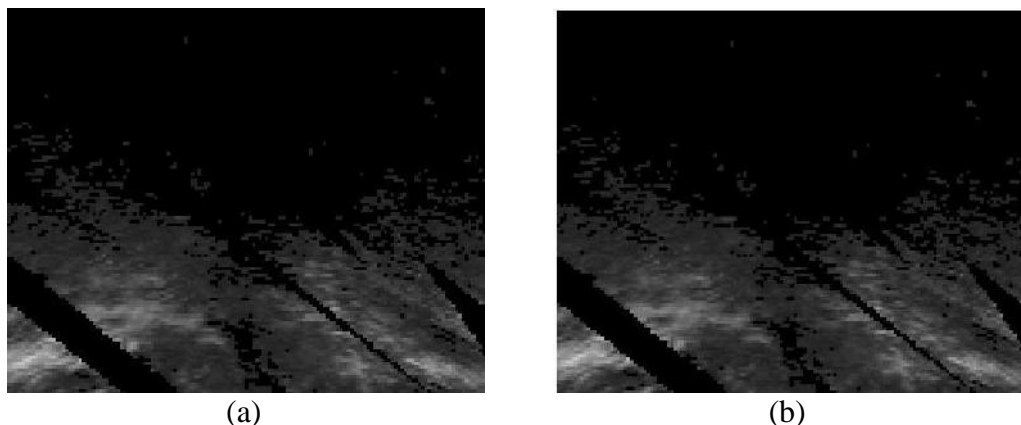
Tabel 4.7 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 50%

Lubang	Radius	Error	Δ
50%	10	16,186 piksel	16,186 piksel
50%	20	17,759 piksel	1,573 piksel
50%	30	18,952 piksel	1,193 piksel
50%	40	19,965 piksel	1,012 piksel
50%	50	20,888 piksel	0,922 piksel
Rata rata		18,750 piksel	4,177 piksel

Data error pada Tabel 4.7 dapat terlihat bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 50%, nilai error terkecil adalah 16.186 piksel pada saat radius yang digunakan sebesar 10. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan nilai radius yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 20,888 piksel pada saat radius bernilai 50. Nilai error rata rata untuk semua radius dengan prosentase jumlah lubang 50% adalah 18,750 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 4,177 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 50%, setiap perubahan jumlah nilai radius yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 4,177 piksel.

Gambar 4.32, Gambar 4.33 dan Gambar 4.34 menunjukkan data citra dengan prosentase jumlah lubang yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada nilai radius yang digunakan pada proses interpolasi saja, Gambar 4.34 a merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 50% dengan nilai radius 10, sedangkan Gambar 4.34 b merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 50% dengan nilai radius 50. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.32 a dan b . Data citra setelah diberikan lubang pada Gambar 4.33 a dan b juga sama, hal ini karena jumlah lubang yang digunakan adalah sama, yaitu sebesar 50%. Secara fisik, terlihat bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 50% dan radius 10 pada Gambar 4.34 a lebih mirip dengan data citra awal pada Gambar 4.32 a, b daripada bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 50% dan radius 50 pada Gambar 4.34 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra dengan prosentase jumlah lubang 50% dan dengan radius 10 dan 50, dapat mengacu pada Gambar 4.35, Gambar 4.36, dan Gambar 4.37. Gambar 4.35 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya voksels kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.



Gambar 4.32 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 50%.
(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)



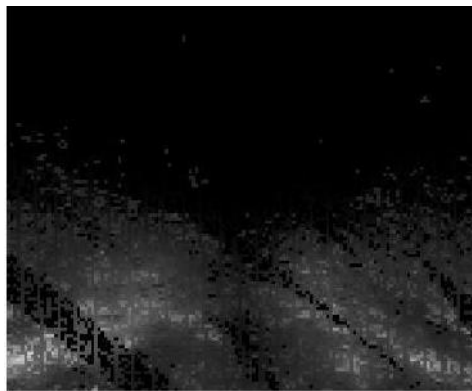
(a)



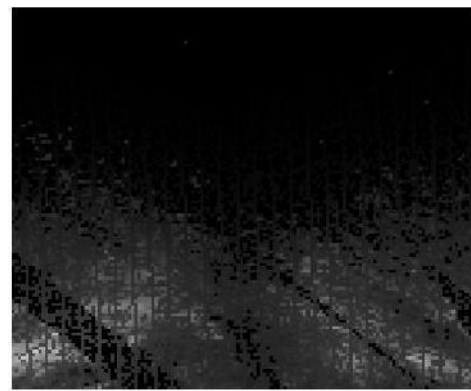
(b)

Gambar 4.33 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 50%.

(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 50% dan radius 50



(a)



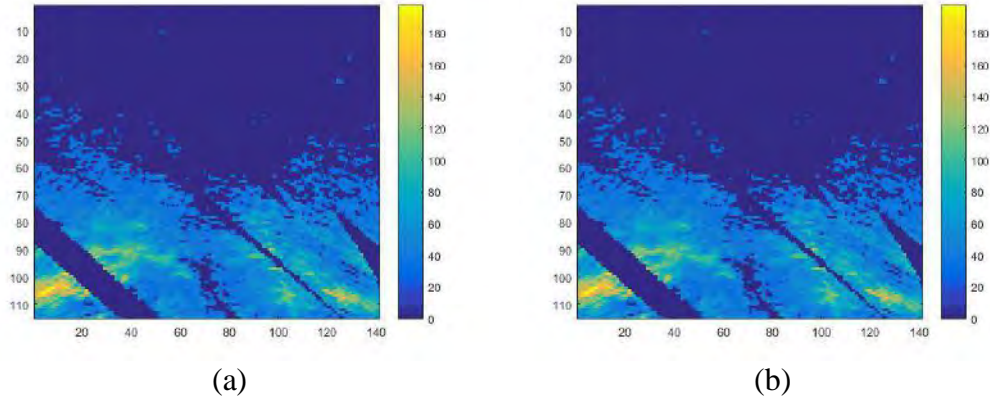
(b)

Gambar 4.34 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 50%.

(a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 50% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)

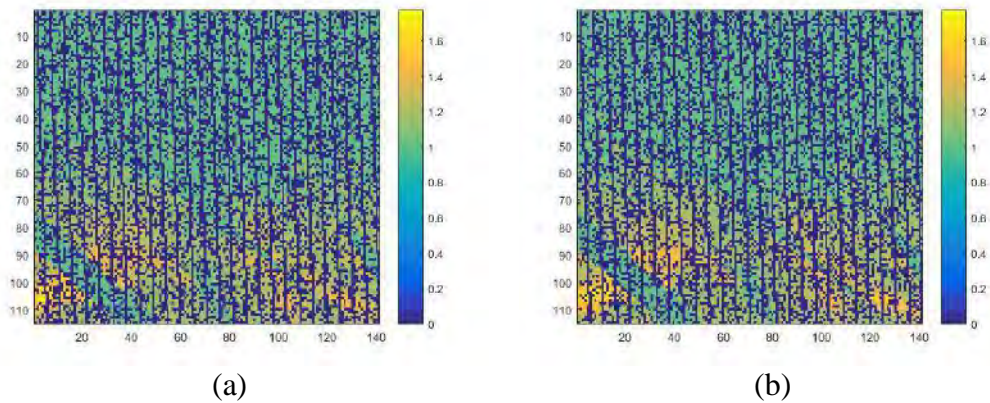
Gambar 4.36 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.36 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.36 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.36 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.36 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 50% pada Gambar 4.36, warna

biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sebanding dengan warna lainnya.



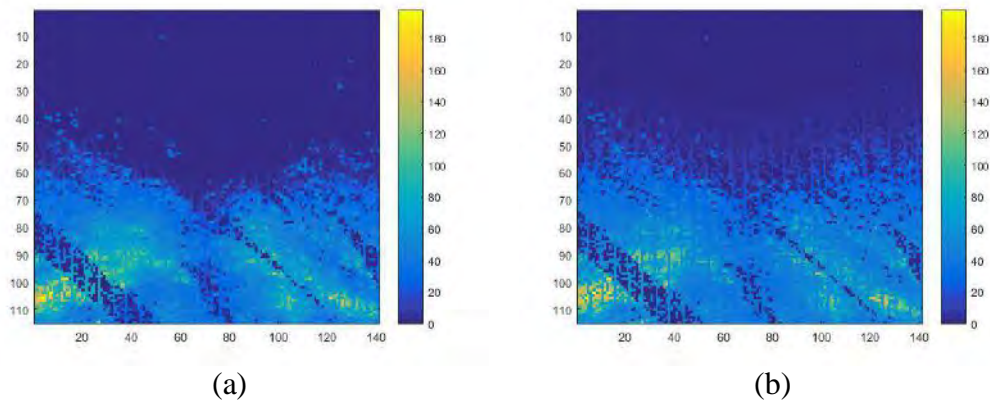
Gambar 4.35 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 50%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50



Gambar 4.36 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 50%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50



Gambar 4.37 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 50%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.37. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.35 (data awal citra) dan Gambar 4.37 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

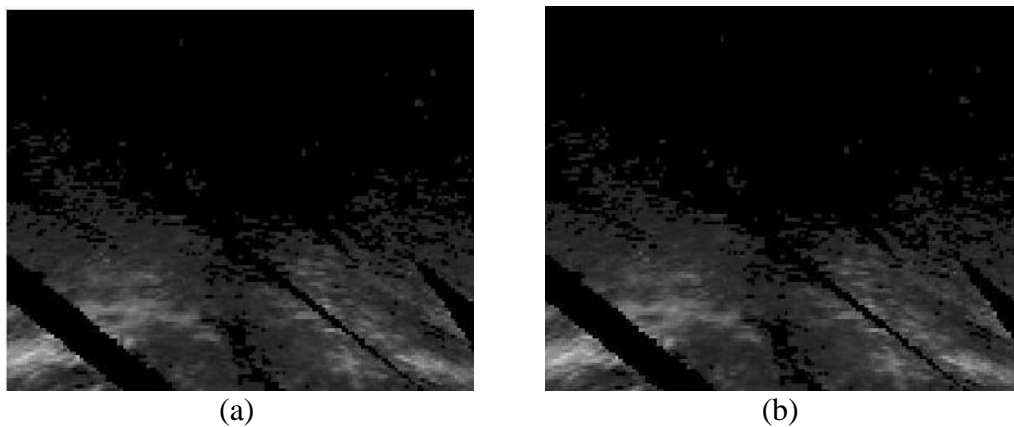
Data hasil interpolasi pada Gambar 4.37 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.35, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.35 dan Gambar 4.37. Dari gambar terlihat bahwa data citra hasil interpolasi sudah memiliki pola yang mirip dengan data awal, hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sudah berjalan dengan baik, meskipun memang belum bisa persis seperti data awal. Selanjutnya data citra radius 10 yang menghasilkan error terendah dengan data citra radius 50 yang menghasilkan error tertinggi, secara visual tidak nampak perbedaan yang mencolok. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan nilai radius tidak berpengaruh signifikan, atau setidaknya pengaruhnya tidak lebih besar daripada pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan prosentase jumlah voksel kosong.

Tabel 4.8 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 60%

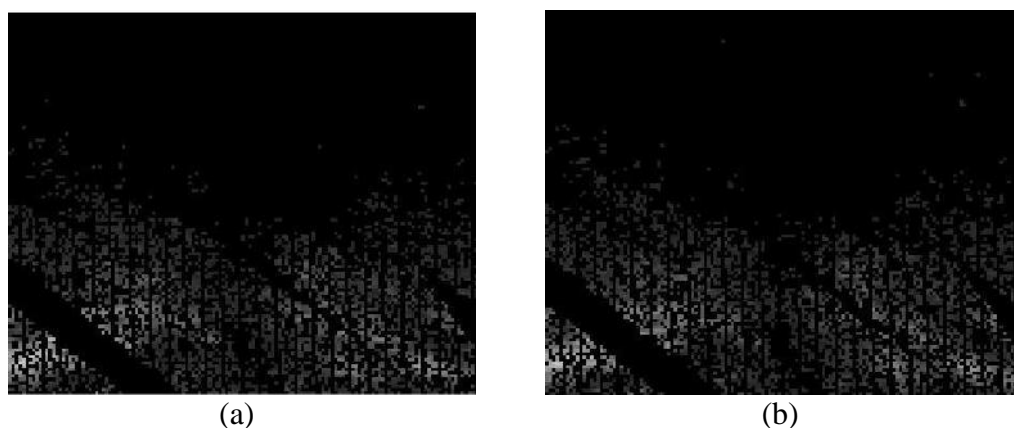
Lubang	Radius	Error	Δ
60%	10	22,010 piksel	22,010 piksel
60%	20	24,134 piksel	2,12 piksel
60%	30	25,716 piksel	1,582 piksel
60%	40	27,118 piksel	1,401 piksel
60%	50	28,348 piksel	1,230 piksel
Rata rata		25,4657 piksel	5,669 piksel

Data error pada Tabel 4.8 dapat terlihat bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 60%, nilai error terkecil adalah 22,010 piksel pada saat radius yang digunakan sebesar 10. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan

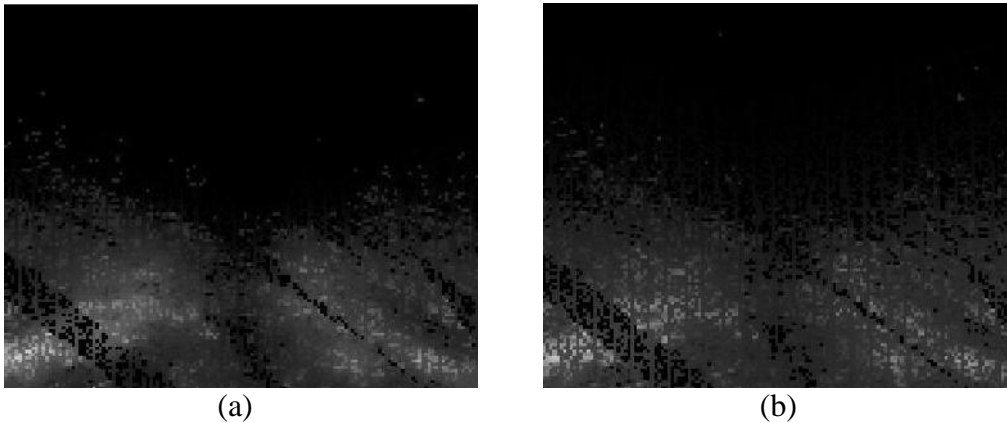
peningkatan nilai radius yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 28,348 piksel pada saat radius bernilai 50. Nilai error rata rata untuk semua radius dengan prosentase jumlah lubang 60% adalah 25,465 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 5,669 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 60%, setiap perubahan jumlah nilai radius yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 5,669 piksel.



Gambar 4.38 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 60%.
(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)



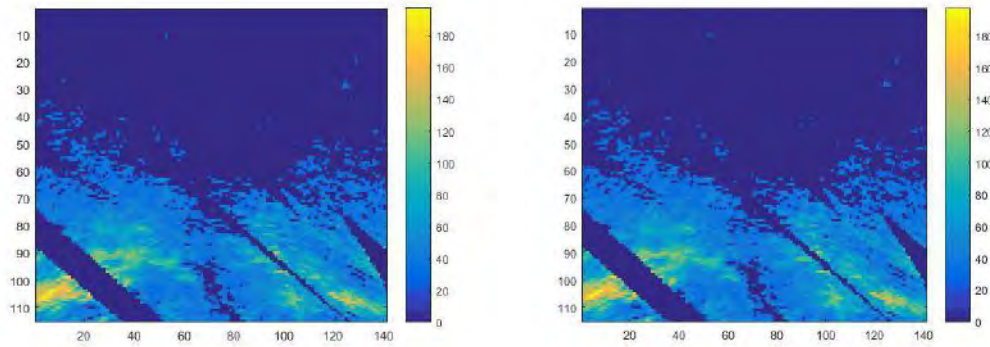
Gambar 4.39 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 60%.
(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 60% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 60% dan radius 50



Gambar 4.40 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 60%.
 (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 60% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 60% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)

Gambar 4.38, Gambar 4.39 dan Gambar 4.40 menunjukkan data citra dengan prosentase jumlah lubang yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada nilai radius yang digunakan pada proses interpolasi saja, Gambar 4.40 a merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 60% dengan nilai radius 10, sedangkan Gambar 4.40 b merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 60% dengan nilai radius 50. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti ditunjukkan pada Gambar 4.38 a dan b. Data citra setelah diberikan lubang pada Gambar 4.39 a dan b juga sama, hal ini karena jumlah lubang yang digunakan adalah sama, yaitu sebesar 60%. Secara fisik, terlihat bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 60% dan radius 10 pada Gambar 4.40 a lebih mirip dengan data citra awal pada Gambar 4.38 a dan b daripada bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 60% dan radius 50 pada Gambar 4.40 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra dengan prosentase jumlah lubang 60% dan dengan radius 10 dan 50, dapat mengacu pada Gambar 4.41, Gambar 4.42, dan Gambar 4.43. Gambar 4.41 menunjukkan nilai intensitas citra data awal sebelum adanya vokal kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.

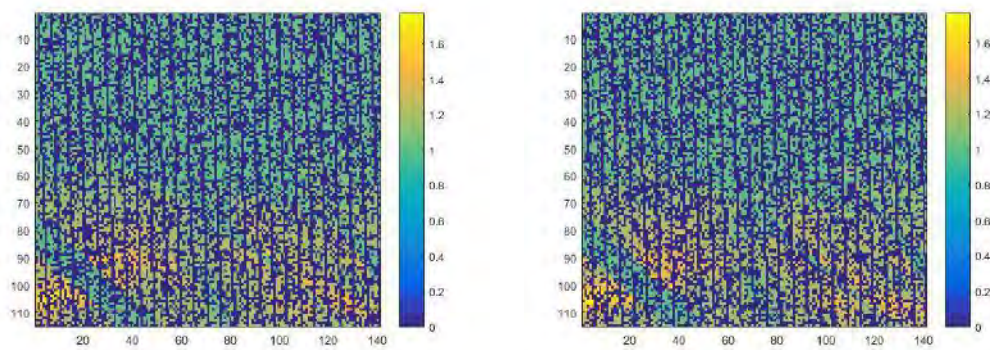


(a)

(b)

Gambar 4.41 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 60%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50

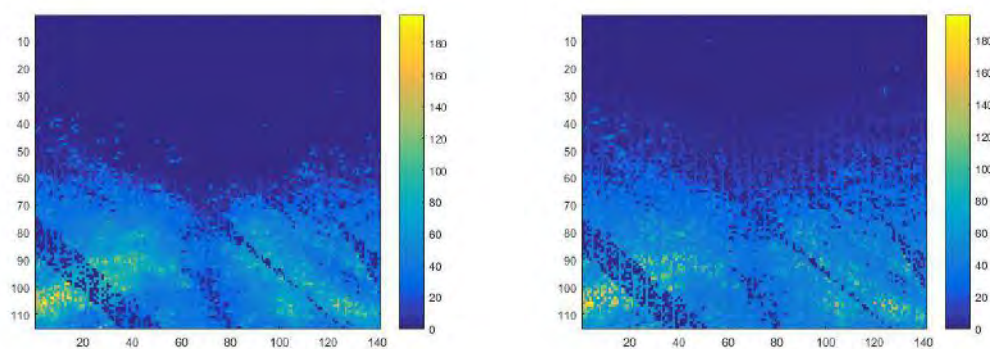


(a)

(b)

Gambar 4.42 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 60%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50



(a)

(b)

Gambar 4.43 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 60%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50

Gambar 4.42 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.42 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.42 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.42 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.42 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 60% pada Gambar 4.42, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sedikit lebih banyak dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.43. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.41 (data awal citra) dan Gambar 4.43 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

Data hasil interpolasi pada Gambar 4.43 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.41, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.41 dan Gambar 4.43. Dari gambar terlihat bahwa data citra hasil interpolasi sudah memiliki pola yang mirip dengan data awal, hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sudah berjalan dengan baik, meskipun memang belum bisa persis seperti data awal. Selanjutnya data citra radius 10 yang menghasilkan error terendah dengan data citra radius 50 yang menghasilkan error tertinggi, secara visual tidak nampak perbedaan yang mencolok. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan nilai radius tidak berpengaruh signifikan, atau setidaknya pengaruhnya tidak lebih besar daripada pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan prosentase jumlah vokal kosong.

Tabel 4.9 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 70%

Lubang	Radius	Error	Δ
70%	10	32,005 piksel	32,005 piksel
70%	20	35,069 piksel	3,063 piksel
70%	30	37,396 piksel	2,327 piksel
70%	40	39,383 piksel	1,987 piksel
70%	50	41,212 piksel	1,828 piksel
Rata rata		37,013 piksel	8,242 piksel

Data error pada Tabel 4.9 dapat terlihat bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 70%, nilai error terkecil adalah 32.005 piksel pada saat radius yang digunakan sebesar 10. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan nilai radius yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 41.212 piksel pada saat radius bernilai 50. Nilai error rata rata untuk semua radius dengan prosentase jumlah lubang 70% adalah 37.013 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 8.242 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 70%, setiap perubahan jumlah nilai radius yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 8.242 piksel.



(a)



(b)

Gambar 4.44 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 70%.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)



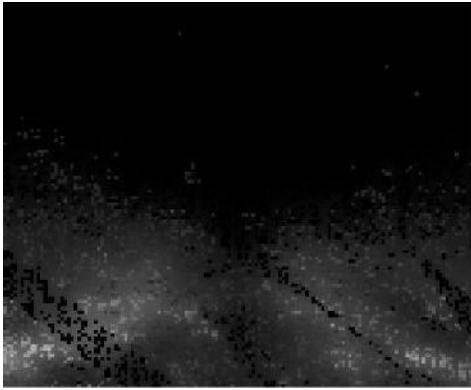
(a)



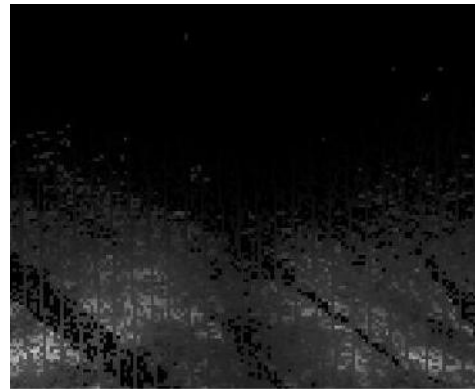
(b)

Gambar 4.45 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 70%.

(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 70% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 70% dan radius 50



(a)



(b)

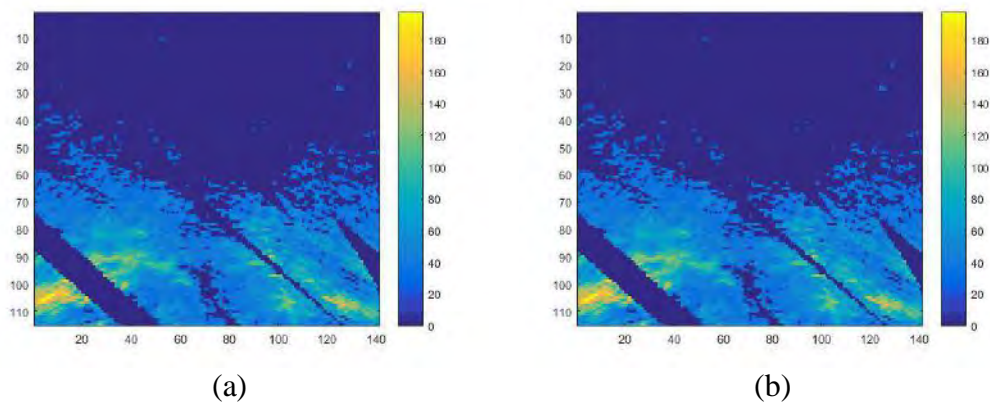
Gambar 4.46 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 70%.

(a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 70% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 70% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)

Gambar 4.44, Gambar 4.45 dan Gambar 4.46 menunjukkan data citra dengan prosentase jumlah lubang yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada nilai radius yang digunakan pada proses interpolasi saja, Gambar 4.46 a merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 70% dengan nilai radius 10, sedangkan Gambar 4.46 b merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 70% dengan nilai radius 50. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.44 a dan b. Data citra setelah diberikan lubang pada Gambar 4.45 a dan b juga sama, hal ini karena jumlah lubang yang digunakan adalah sama, yaitu sebesar 70%. Secara fisik, terlihat bahwa citra hasil interpolasi

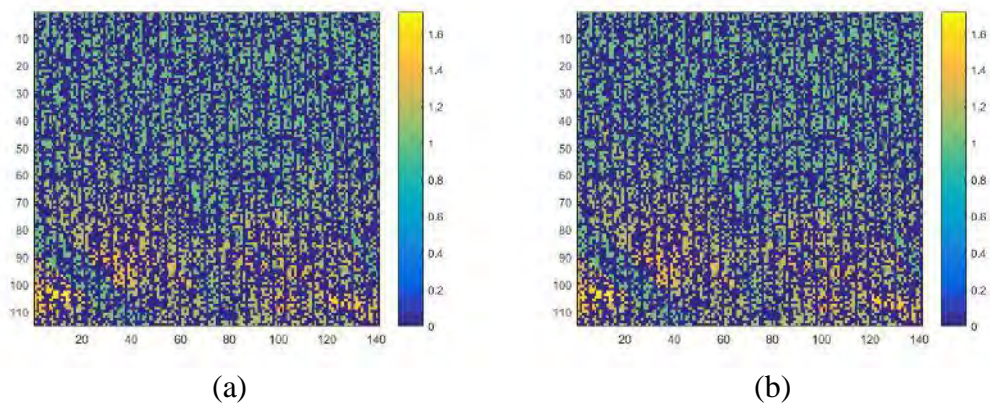
dengan lubang 70% dan radius 10 pada Gambar 4.46 a lebih mirip dengan data citra awal pada Gambar 4.44 a dan b daripada bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 70% dan radius 50 pada Gambar 4.46 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra dengan prosentase jumlah lubang 70% dan dengan radius 10 dan 50, dapat mengacu pada Gambar 4.47, Gambar 4.48, dan Gambar 4.49. Gambar 4.47 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya vokal kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.



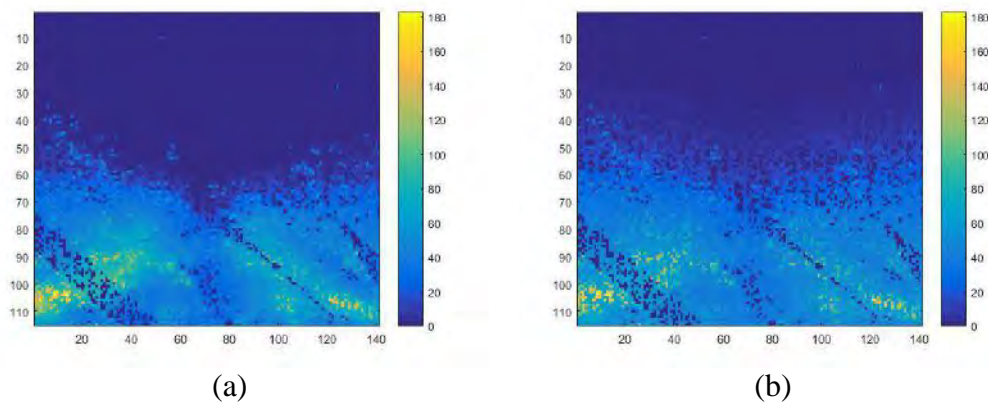
Gambar 4.47 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 70%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50



Gambar 4.48 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 70%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50



Gambar 4.49 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 70%, ditampilkan dalam bentang warna.
(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50

Gambar 4.48 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.48 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.48 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.48 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.48 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 70% pada Gambar 4.48, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya sedikit lebih banyak dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.49. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.47 (data awal citra) dan Gambar 4.49 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

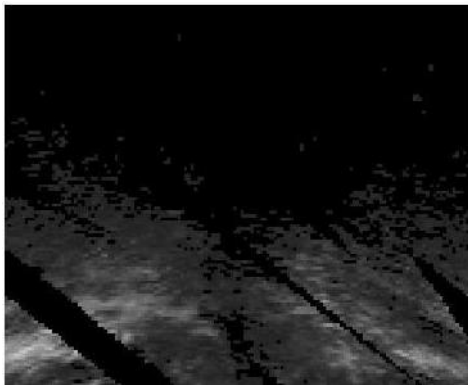
Data hasil interpolasi pada Gambar 4.49 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.47, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan

warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.47 dan Gambar 4.49. Dari gambar terlihat bahwa data citra hasil interpolasi sudah memiliki pola yang mirip dengan data awal, hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sudah berjalan dengan baik, meskipun memang belum bisa persis seperti data awal. Selanjutnya data citra radius 10 yang menghasilkan error terendah dengan data citra radius 50 yang menghasilkan error tertinggi, secara visual tidak nampak perbedaan yang mencolok. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan nilai radius tidak berpengaruh signifikan, atau setidaknya pengaruhnya tidak lebih besar daripada pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan prosentase jumlah voksel kosong.

Tabel 4.10 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 80%

Lubang	Radius	Error	Δ
80%	10	52.667 piksel	52.667 piksel
80%	20	57.660 piksel	4.993 piksel
80%	30	61.465 piksel	3.804 piksel
80%	40	64.750 piksel	3.285 piksel
80%	50	67.652 piksel	2.902 piksel
Rata rata		60.839 piksel	13.530 piksel

Data error pada Tabel 4.10 dapat terlihat bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 80%, nilai error terkecil adalah 52.667 piksel pada saat radius yang digunakan sebesar 10. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan peningkatan nilai radius yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 67.652 piksel pada saat radius bernilai 50. Nilai error rata rata untuk semua radius dengan prosentase jumlah lubang 80% adalah 60.839 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 13.530 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 80%, setiap perubahan jumlah nilai radius yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 13.530 piksel.



(a)



(b)

Gambar 4.50 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 80%.

(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)



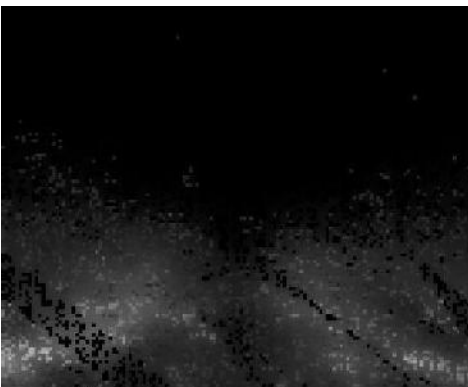
(a)



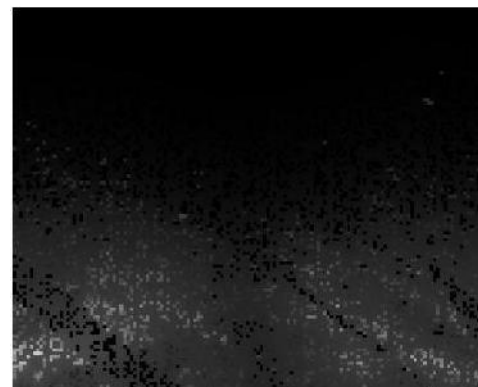
(b)

Gambar 4.51 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 80%.

(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 80% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 80% dan radius 50



(a)



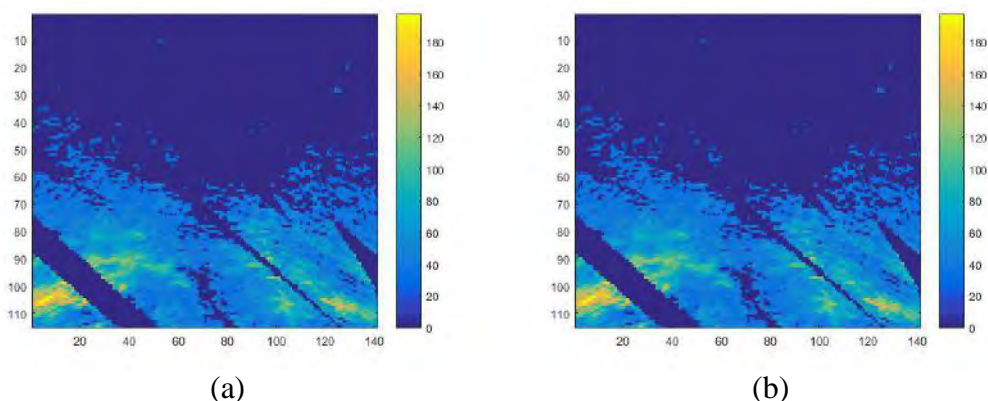
(b)

Gambar 4.52 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 80%.

(a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 80% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 80% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)

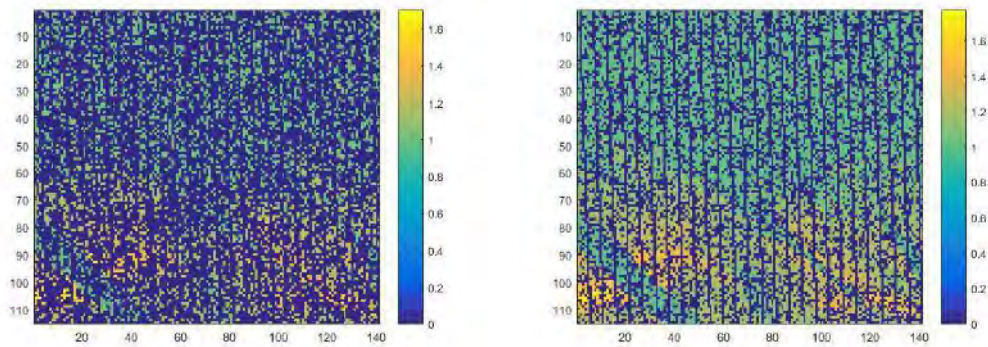
Gambar 4.50, Gambar 4.51 dan Gambar 4.52 menunjukkan data citra dengan prosentase jumlah lubang yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada nilai radius yang digunakan pada proses interpolasi saja, Gambar 4.52 a merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 80% dengan nilai radius 10, sedangkan Gambar 4.52 b merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 80% dengan nilai radius 50. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.50 a dan b. Data citra setelah diberikan lubang pada Gambar 4.51 a dan b juga sama, hal ini karena jumlah lubang yang digunakan adalah sama, yaitu sebesar 80%. Secara fisik, terlihat bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 80% dan radius 10 pada Gambar 4.52 a lebih mirip dengan data citra awal pada Gambar 4.50 a dan b daripada bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 80% dan radius 50 pada Gambar 4.52 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra dengan prosentase jumlah lubang 80% dan dengan radius 10 dan 50, dapat mengacu pada Gambar 4.47, Gambar 4.53, dan Gambar 4.54. Gambar 4.55 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya voksels kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.



Gambar 4.53 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 80%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50

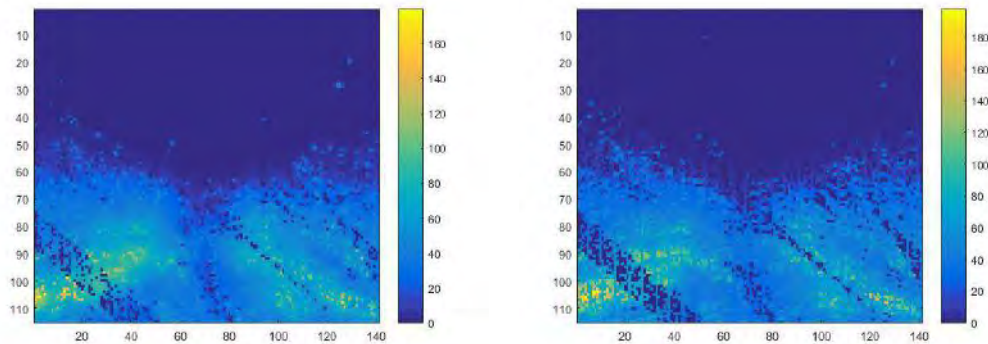


(a)

(b)

Gambar 4.54 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 80%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50



(a)

(b)

Gambar 4.55 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 80%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50

Gambar 4.54 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.54 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.54 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.54 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.54 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 80% pada Gambar 4.54, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya lebih banyak dengan warna lainnya.

Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.55. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.53 (data awal citra) dan Gambar 4.55 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

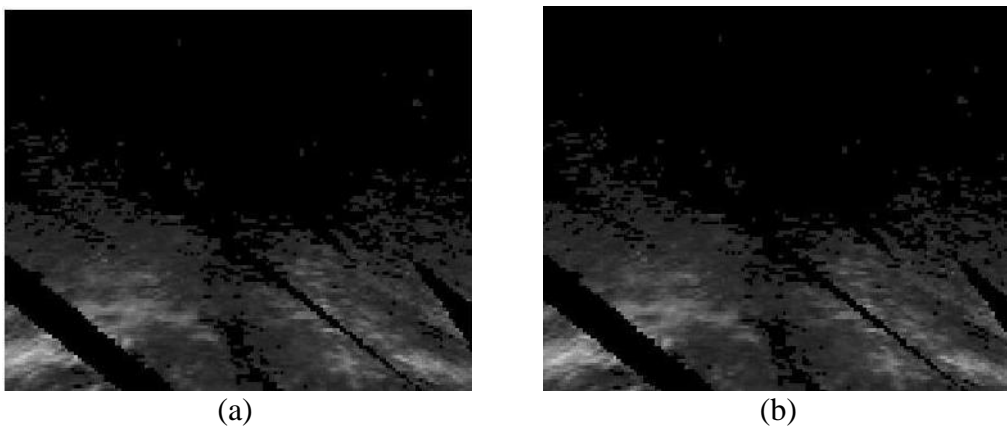
Data hasil interpolasi pada Gambar 4.55 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.53, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.53 dan Gambar 4.55. Dari gambar terlihat bahwa data citra hasil interpolasi sudah memiliki pola yang mirip dengan data awal, hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sudah berjalan dengan baik, meskipun memang belum bisa persis seperti data awal. Selanjutnya data citra radius 10 yang menghasilkan error terendah dengan data citra radius 50 yang menghasilkan error tertinggi, secara visual tidak nampak perbedaan yang mencolok. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan nilai radius tidak berpengaruh signifikan, atau setidaknya pengaruhnya tidak lebih besar daripada pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan prosentase jumlah vokal kosong.

Tabel 4.11 Pengujian dengan prosentase jumlah lubang 90%

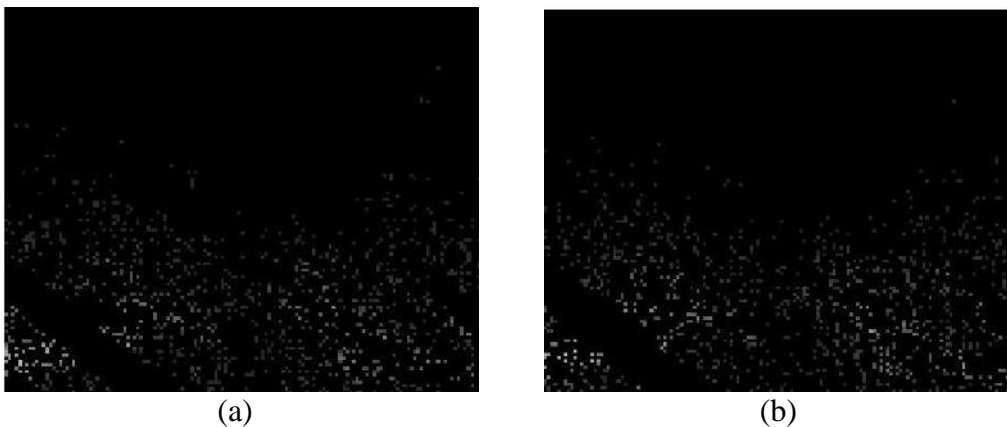
Lubang	Radius	Error	Δ
90%	10	116,248 piksel	116,248 piksel
90%	20	126,918 piksel	10,669 piksel
90%	30	135,157 piksel	8,239 piksel
90%	40	142,223 piksel	7,066 piksel
90%	50	148,711 piksel	6,488 piksel
Rata rata		133,851 piksel	29,742 piksel

Data error pada Tabel 4.11 dapat terlihat bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 90%, nilai error terkecil adalah 116,248 piksel pada saat radius yang digunakan sebesar 10. Kemudian nilai error terus meningkat seiring dengan

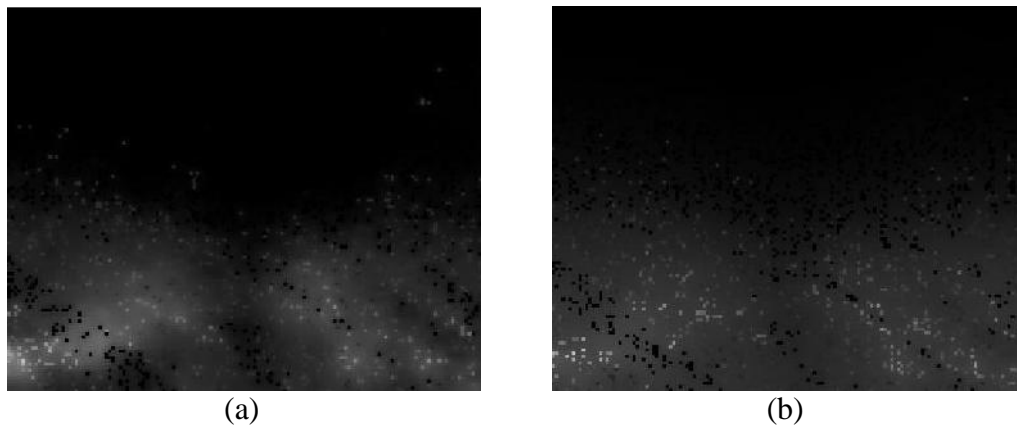
peningkatan nilai radius yang diberikan, hingga nilai error tertinggi dicapai dengan nilai 148,711 piksel pada saat radius bernilai 50. Nilai error rata rata untuk semua radius dengan prosentase jumlah lubang 90% adalah 133,851 piksel. Namun perlu diketahui bahwa nilai error ini memiliki skala antara 0 piksel hingga 255 piksel (sesuai dengan bentang nilai piksel). Sedangkan rata rata selisih error untuk setiap perubahan variabel adalah 29,742 piksel. Hal ini dapat dikatakan bahwa untuk nilai prosentase jumlah lubang 90%, setiap perubahan jumlah nilai radius yang diberikan akan mempengaruhi nilai error sebesar 29,742 piksel.



Gambar 4.56 Data citra frame 1 untuk nilai prosentase lubang 90%.
(a) Data citra 3d awal (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d awal (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)



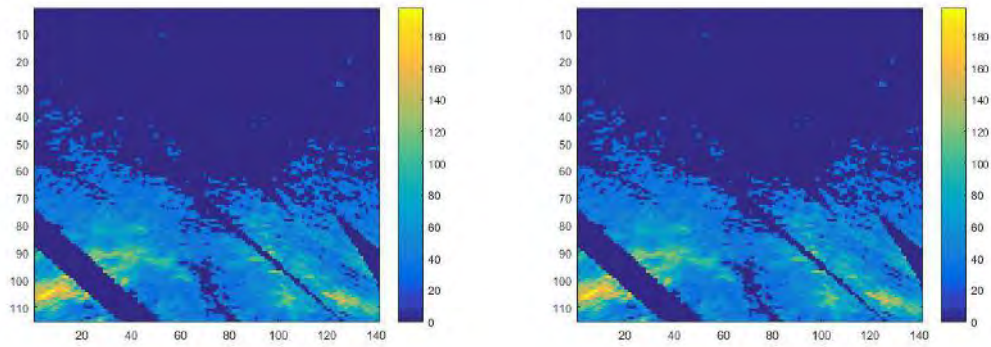
Gambar 4.57 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 90%.
(a) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90% dan radius 10 (b) Data citra 3d dengan prosentase jumlah lubang 90% dan radius 50



Gambar 4.58 Data citra frame 1 untuk prosentase lubang 90%.
 (a) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90% (nilai error terkecil saat radius bernilai 10) (b) Data citra 3d hasil interpolasi dengan prosentase jumlah lubang 90% (nilai error terbesar saat radius bernilai 50)

Gambar 4.56, Gambar 4.57 dan Gambar 4.58 menunjukkan data citra dengan prosentase jumlah lubang yang sama. Perbedaannya hanya terletak pada nilai radius yang digunakan pada proses interpolasi saja, Gambar 4.58 a merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 90% dengan nilai radius 10, sedangkan Gambar 4.58 b merupakan hasil interpolasi data citra dengan lubang 90% dengan nilai radius 50. Data awal yang digunakan adalah sama, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.56 a dan b. Data citra setelah diberikan lubang pada Gambar 4.57 a dan b juga sama, hal ini karena jumlah lubang yang digunakan adalah sama, yaitu sebesar 90%. Secara fisik, terlihat bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 90% dan radius 10 pada Gambar 4.58 a lebih mirip dengan data citra awal pada Gambar 4.56 a dan b daripada bahwa citra hasil interpolasi dengan lubang 90% dan radius 50 pada Gambar 4.58 b.

Untuk memudahkan dalam membandingkan data awal citra, data posisi hole dan data hasil interpolasi citra dengan prosentase jumlah lubang 90% dan dengan radius 10 dan 50, dapat mengacu pada Gambar 4.59, Gambar 4.60, dan Gambar 4.61. Gambar 4.59 menunjukkan nilai nilai intensitas citra data awal sebelum adanya voksels kosong. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada.

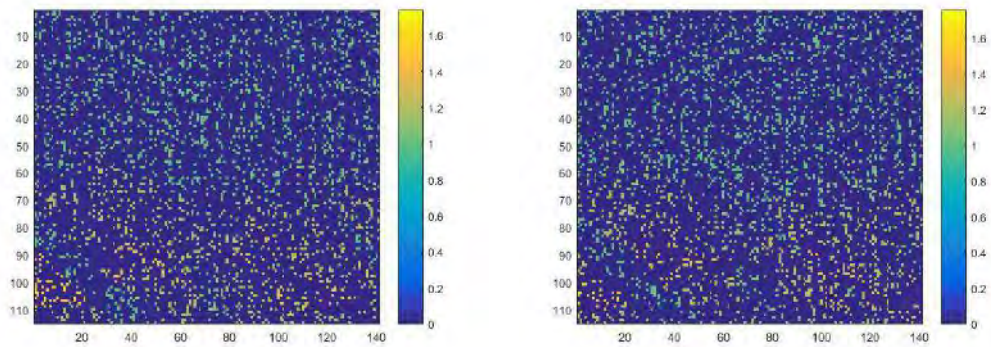


(a)

(b)

Gambar 4.59 Nilai intensitas citra 3d awal untuk nilai prosentase lubang 90%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan nilai error terkecil saat radius 10 (b) Data dengan nilai error terbesar saat 50

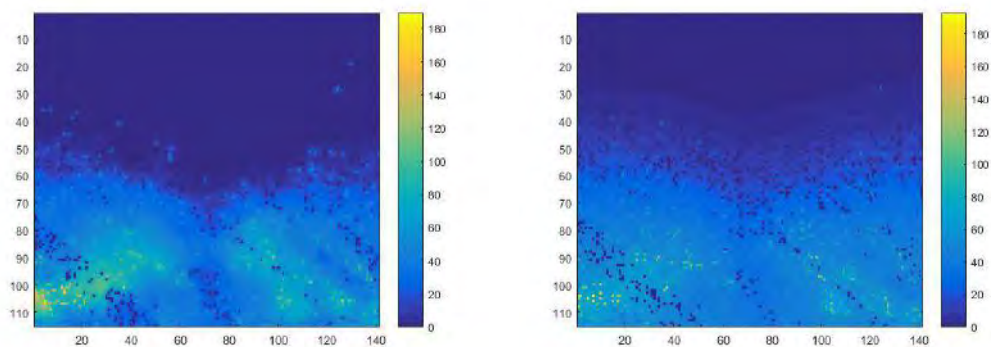


(a)

(b)

Gambar 4.60 Gambaran letak vokal kosong dalam array ketika nilai prosentase lubang 90%, vokal kosong ditunjukkan dengan warna biru gelap.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50



(a)

(b)

Gambar 4.61 Nilai intensitas citra hasil interpolasi dengan nilai prosentase lubang 80%, ditampilkan dalam bentang warna.

(a) Data dengan radius 10 (b) Data dengan radius 50

Gambar 4.60 menunjukkan letak vokal kosong dalam array. Letak vokal kosong pada Gambar 4.60 ditunjukkan dengan warna biru gelap. Namun perlu dipahami bahwa Gambar 4.60 hanya untuk menunjukkan letak vokal kosong saja, dan sama sekali tidak untuk menunjukkan nilai intensitas data citra. Karena memang tujuan dari Gambar 4.60 hanya untuk memudahkan pembaca dalam melihat letak vokal kosong dalam array, untuk kemudian diamati. Jumlah prosentase vokal kosong 90% memang banyak sehingga terlihat pada Gambar 4.60 b mayoritas berwarna biru gelap yang menandakan adanya vokal kosong. Sedangkan untuk prosentase jumlah vokal kosong 90% pada Gambar 4.60, warna biru yang menunjukkan vokal kosong jumlahnya jauh lebih banyak dengan warna lainnya.

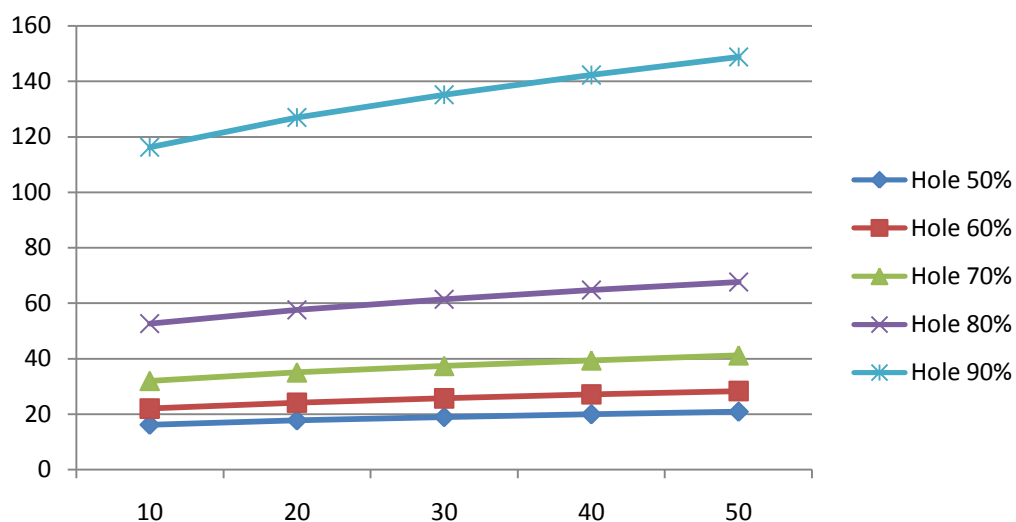
Hasil proses interpolasi ditunjukkan pada Gambar 4.61. Rentang warna yang digunakan mulai dari biru gelap hingga kuning, dimana warna biru gelap menunjukkan nilai intensitas rendah, sedangkan nilai kuning menunjukkan nilai intensitas tinggi. Skala yang digunakan ditunjukkan disamping gambar yang ada. Skala yang digunakan oleh Gambar 4.59 (data awal citra) dan Gambar 4.61 (data citra hasil interpolasi) adalah sama, sehingga nilainya bisa dibandingkan.

Data hasil interpolasi pada Gambar 4.61 sudah menunjukkan pola yang sama dengan data awal citra pada Gambar 4.59, hal ini menunjukkan bahwa metode interpolasi sudah berhasil. Sedangkan kemiripan nilai intensitas citra data hasil interpolasi dengan data citra awal dapat dilihat dengan membandingkan warna yang ditunjukkan pada Gambar 4.59 dan Gambar 4.61. Dari gambar terlihat bahwa data citra hasil interpolasi sudah memiliki pola yang mirip dengan data awal, hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan sudah berjalan dengan baik, meskipun memang belum bisa persis seperti data awal. Selanjutnya data citra radius 10 yang menghasilkan error terendah dengan data citra radius 50 yang menghasilkan error tertinggi, secara visual tidak nampak perbedaan yang mencolok. Hal ini menunjukkan bahwa pengaruh perubahan nilai radius tidak berpengaruh signifikan, atau setidaknya pengaruhnya tidak lebih besar daripada pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan prosentase jumlah vokal kosong.

Tabel 4.12 Perbandingan nilai error untuk setiap prosentase jumlah lubang

Radius	Lubang	Error	Δ
10 - 50	50%	18,750 piksel	4,177 piksel
10 - 50	60%	25,465 piksel	6,715 piksel
10 - 50	70%	37,013 piksel	11,547 piksel
10 - 50	80%	60,839 piksel	23,825 piksel
10 - 50	90%	133,851 piksel	73,012 piksel
Rata rata		55,184 piksel	23,855 piksel

Dari data Tabel 4.12 dapat terlihat bahwa secara keseluruhan, nilai prosentase jumlah lubang yang menghasilkan error terkecil untuk semua variasi nilai radius adalah lubang 50% dengan nilai error sebesar 18,750 piksel. Sedangkan nilai prosentase jumlah lubang yang menghasilkan error terbesar untuk setiap variasi radius yang diberikan adalah lubang 90% dengan nilai error sebesar 133,851 piksel. Error rata rata dari semua data yang didapat adalah 55,184 piksel. Sedangkan rata rata selisih error dari seluruh data hasil percobaan adalah 23,855 piksel, hal ini menunjukkan bahwa setiap perubahan variabel radius yang diberikan, rata rata mengubah nilai error sebesar 23,855 piksel.



Gambar 4.62 Grafik nilai error untuk setiap nilai prosentase jumlah lubang

Perbandingan dari keseluruhan data error untuk setiap variasi nilai radius ditunjukkan pada Gambar 4.62. Dari Gambar 4.62 terlihat bahwa untuk setiap nilai prosentase jumlah lubang yang sama, semakin besar nilai radius yang diberikan mengakibatkan nilai error yang didapatkan juga semakin besar. Untuk prosentase jumlah lubang yang sama, semakin kecil nilai radius yang diberikan akan menghasilkan nilai error yang semakin kecil pula. Dengan kata lain, untuk prosentase jumlah lubang yang sama, nilai error berbanding lurus dengan nilai radius. Terlihat pula bahwa pada saat lubang 50%, selisih errornya dengan pada saat lubang bernilai 60% cukup kecil. Kemudian selisih error tersebut semakin besar ketika lubang mencapai 70%, dan semakin besar lagi secara signifikan untuk nilai nilai lubang di atasnya (prosentase jumlah lubang semakin besar). Hal ini menunjukkan bahwa untuk setiap nilai radius yang sama, semakin besar nilai jumlah prosentase lubang, akan menghasilkan selisih error yang semakin besar pula. Demikian pula sebaliknya untuk setiap nilai radius yang sama, semakin kecil nilai prosentase jumlah lubang yang diberikan akan mengakibatkan selisih nilai error juga semakin kecil. Dengan kata lain, untuk nilai radius yang sama, selisih error yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai prosentase jumlah lubang.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN PENELITIAN SELANJUTNYA

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini melakukan proses *hole filling* pada vokal vokal kosong yang terletak pada benda 3 dimensi dengan metode interpolasi. Proses interpolasi dilakukan berdasarkan dari nilai vokal vokal tetangga yang sebelumnya telah diberi bobot. Pada penelitian ini, nilai bobot vokal tetangga yang diberikan dihitung berdasarkan jaraknya terhadap vokal kosong. Dimana semakin dekat jarak vokal tetangga dengan vokal kosong, maka bobot yang diberikan semakin besar, sebaliknya, semakin jauh jarak vokal tetangga dengan vokal kosong, maka nilai bobot yang diberikan semakin kecil. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode interpolasi yang digunakan dalam penelitian ini telah mampu mengisi vokal kosong dengan nilai baru yang mirip dengan data aslinya.

Untuk melihat performa dari metode yang digunakan pada penelitian ini, maka dilakukan penghitungan nilai error. Nilai error dihitung dari rata rata selisih antara data asli dengan data hasil interpolasi. Dimana data yang digunakan memiliki rentang nilai antara 0 piksel hingga 255 piksel.

Dari pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi nilai radius 10, 20, 30, 40 dan 50, serta prosentase jumlah vokal kosong 50%, 60%, 70%, 80 % dan 90% menghasilkan error dengan rata rata sebesar 55,184 piksel (skala 0 piksel hingga 255 piksel). Sedangkan untuk setiap perubahan nilai radius yang digunakan sebagai salah satu parameter dalam proses interpolasi, rata rata menghasilkan perubahan nilai error sebesar 26,770 piksel (skala 0 piksel hingga 255 piksel).

Variasi nilai prosentase jumlah hole 50%, 60%, 70%, 80% dan 90% untuk nilai radius yang sama, rata rata menghasilkan nilai error sebesar 55,184 piksel (skala 0 piksel hingga 255 piksel). Sedangkan setiap perubahan nilai prosentase jumlah hole yang diberikan, rata rata menghasilkan perubahan nilai error sebesar 23,855 piksel (skala 0 piksel hingga 255 piksel).

5.2 Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan pada penelitian ini, ada beberapa hal yang bisa diperhatikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Yang pertama, sifat dari proses interpolasi 3 dimensi ini sangat membutuhkan banyak sumber daya, karena memang data yang diolah juga sangat banyak. Pada penelitian kedepan mungkin bisa diperhatikan cara cara baru agar proses interpolasi 3 dimensi ini menjadi lebih efektif dan bisa menghemat sumber daya.

Voksel kosong/lubang yang akan diolah menggunakan proses interpolasi ini sebenarnya dari awal memang kosong/tidak ada informasinya. Sehingga nilai apapun yang dimasukkan sebagai nilai lubang/voksel kosong ini boleh boleh saja. Namun perlu diperhatikan bagaimana caranya agar nilai baru yang digunakan sebagai nilai lubang/voksel kosong tersebut menjadi nilai/informasi yang berarti. Salah satu caranya adalah dengan menghitung nilai errornya.

Kebebasan dalam cara menentukan nilai lubang/voksel kosong ini bisa menjadi peluang penelitian baru.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewi, D. E. O., Mengko, T. L. R., Purnama, I. K. E., Veldhuizen, A. G., & Wilkinson, M. H. F. (2010). An Improved Olympic Hole-Filling Method for Ultrasound Volume Reconstruction of Human Spine. *International Journal of E-Health and Medical Communications*, 1(3), 28–40. <http://doi.org/10.4018/jehmc.2010070103>
- Dewi, D. E. O., Wilkinson, M. H. F., Mengko, T. L. R., Purnama, I. K. E., Van Ooijen, P. M. A., Veldhuizen, A. G., ... Verkerke, G. J. (2009). 3D ultrasound reconstruction of spinal images using an improved olympic hole-filling method. *International Conference on Instrumentation, Communication, Information Technology, and Biomedical Engineering 2009, ICICI-BME 2009*, 1–5. <http://doi.org/10.1109/ICICI-BME.2009.5417235>
- Dressler, M. M. (2009). Art of Surface Interpolation, 1–80.
- Fenster, a, Downey, D. B., & Cardinal, H. N. (2001). Three-dimensional ultrasound imaging. *Physics in Medicine and Biology*, 46(5), R67–R99. <http://doi.org/10.1088/0031-9155/46/5/201>
- Fenster, A., Bax, J., Neshat, H., Cool, D., Kakani, N., & Romagnoli, C. (2014). 3D ultrasound imaging in image-guided intervention. *Conference Proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Annual Conference*, 2014, 6151–6154. <http://doi.org/10.1109/EMBC.2014.6945033>
- Jacobson, J. a. (2005). Musculoskeletal ultrasound and MRI: which do I choose? *Seminars in Musculoskeletal Radiology*, 9(2), 135–49. <http://doi.org/10.1055/s-2005-872339>
- Keywords. (n.d.).

- Lacroute, P., & Levoy, M. (1994). Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation. *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques - SIGGRAPH '94*, 451–458. <http://doi.org/10.1145/192161.192283>
- Li, Y., Kummert, A., Boschen, F., & Herzog, H. (2008). Interpolation-Based Reconstruction Methods for Tomographic Imaging in 3D Positron Emission Tomography. *International Journal of Applied Mathematics and Computer Science*, 18(1), 63–73. <http://doi.org/10.2478/v10006-008-0006-y>
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). No Title No Title. *Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*, 1. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ohbuchi, R., Chen, D., & Fuchs, H. (1992). Incremental volume reconstruction and rendering for 3-D ultrasound imaging. *Proc. SPIE*, 1808, 312–323. <http://doi.org/10.1117/12.131087>
- Purnama, K. E., Wilkinson, M. H. F., Veldhuizen, A. G., Van Ooijen, P. M. A., Lubbers, J., Burgerhof, J. G. M., ... Verkerke, G. J. (2010). A framework for human spine imaging using a freehand 3D ultrasound system. *Technology and Health Care*, 18(1), 1–17. <http://doi.org/10.3233/THC-2010-0565>
- Sanches, J. M., & Marques, J. S. (2000). A Rayleigh reconstruction/interpolation algorithm for 3D ultrasound. *Pattern Recognition Letters*, 21(10), 917–926. [http://doi.org/10.1016/S0167-8655\(00\)00053-2](http://doi.org/10.1016/S0167-8655(00)00053-2)
- Treece. (2000). Volume Measurement and surface visualisation in sequential freehand 3D ultrasound, *PhD*(November).

BIOGRAFI



Aris Sudaryanto, merupakan anak terakhir dari tiga bersaudara anak pasangan Bapak Sugiyo dan Ibu Tri Wasiati yang lahir pada tahun 1991 silam. Menerima gelar sarjana sains terapan (S.ST.) pada bidang Teknik Komputer dari PENS-ITS pada 2013 silam. Selanjutnya pemuda kelahiran Ponorogo ini melanjutkan pendidikan pada program pascasarjana di Institut Teknologi Sepuluh Nopember dengan mengambil bidang studi Jaringan Cerdas Multimedia. Sempat mendalami bidang pemrograman android, dan visi komputer, dan saat ini meneliti pada bidang rekonstruksi citra.

Hubungi saya di :
aris.sudaryanto@gmail.com